



SYSTÈMES AERONAUTIQUES
D'AVANT-GARDE POUR L'ENVIRONNEMENT

QUAND L'ENVIRONNEMENT
INSPIRE L'INNOVATION

2015

RAPPORT FINAL DE FIN DE PROJET

Québec 



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

TABLE DES MATIÈRES

02	Mot du président
04	Mot de la directrice
06	Modalités du projet
08	Présentation des partenaires et des sous-projets
10	Bilan des sous-projets
57	Développement durable
60	Appréciation de l'Organisme

FAITS SAILLANTS

150	millions de dollars
70	millions provenant du gouvernement du Québec
80	millions provenant de l'industrie québécoise
9,4 %	de la valeur du projet attribué à des PME québécoises
6,3 %	de la valeur du projet attribué à des universités et centres de recherche québécois
28	PME québécoises participantes
8	centres de recherche québécois
8	universités québécoises
138	étudiants impliqués
100	emplois hautement qualifiés créés ou maintenus au Québec
84	brevets déposés à ce jour ou en instance d'approbation

MOT DU PRÉSIDENT



Le principal élément différenciateur des avions de demain sera leur empreinte environnementale. Dans le monde d'aujourd'hui, développer des technologies plus vertes est un enjeu économique, car un aéronef plus propre, plus silencieux et qui produit moins de carbone sera aussi l'aéronef le moins cher à l'exploitation. Dans ce contexte, SA²GE prend tout son sens.

La dernière année a permis de finaliser la démonstration des technologies à visée environnementale, développées dans le cadre du projet mobilisateur de l'avion plus écologique qui a pris fin le 31 mars.

Ce premier projet mobilisateur a permis de couvrir un certain nombre de technologies touchant plusieurs parties de l'avion : le moteur, le fuselage, le train d'atterrissage et l'avionique.

Parmi les gains environnementaux obtenus grâce à SA²GE, relevons la réduction de 5 % des émissions de CO₂ due à une meilleure efficacité des compresseurs du moteur, ainsi que la réduction significative du poids de l'appareil grâce à l'optimisation de la structure et des systèmes avioniques. Les technologies développées dans SA²GE permettront également de nombreux gains environnementaux en cours de fabrication. En effet, nos efforts ont entraîné une réduction de la consommation d'eau et d'énergie, ainsi que l'élimination de matériaux nocifs pour la santé et l'environnement, qu'on retrouve actuellement dans les peintures et dans les pièces des trains d'atterrissage. Ces constats relèvent du comité gains environnementaux, regroupant un représentant par partenaire industriel, et qui s'est donné pour mandat le partage et l'élaboration de méthodes et d'outils d'analyse adaptés aux technologies de démonstration. À terme, nous espérons approfondir l'écoconception et la partager avec nos PME québécoises. Ce vœu sera sans doute possible grâce au renouvellement de SA²GE dans le dernier budget provincial.

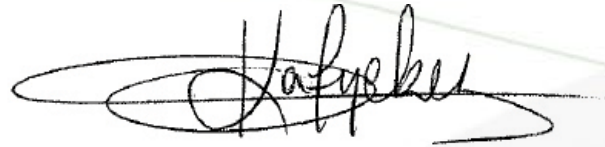
L'impact stratégique de SA²GE est clair. Chacun des 6 sous-projets a permis à l'entreprise qui l'a réalisé d'envisager à terme un positionnement stratégique prometteur pour les produits qui en découleront

dans 5 à 10 ans. Toutefois, certaines retombées sont dès aujourd'hui palpables. À titre d'exemple, l'un des partenaires industriels a réussi à soumissionner sur plus d'une vingtaine d'appels d'offres au cours des derniers mois, grâce au savoir-faire développé au début de SA²GE. Un autre industriel a maintenant les technologies qui lui permettront de se conformer aux prochaines règles environnementales.

Toutes ces réalisations ont été rendues possibles grâce au travail remarquable de l'ensemble des équipes de projet au sein des donneurs d'ordre, et au sein des organisations partenaires, ainsi qu'à l'équipe d'IODS, qui a su administrer avec efficacité et transparence l'organisme sans but lucratif créé pour piloter le projet.

Je tiens à remercier le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations pour sa vision, sa compréhension des enjeux de notre industrie et son appui aux efforts de chacun d'entre nous. Au fil des cinq dernières années, c'est tout un réseau d'entreprises qui a innové dans un esprit de collaboration. L'impact se fait sentir à tous les niveaux de la chaîne aéronautique.

Au nom du conseil d'administration, j'aimerais vous remercier pour votre excellent travail à tous.



FASSI KAFYEKE,

Président du conseil d'administration

**Regroupement pour le développement
de l'avion plus écologique**

**Directeur principal, Technologies stratégiques
et développement de produits avancés**

Bombardier

MOT DE LA DIRECTRICE



La phase 1 de SA²GE a constitué un véritable creuset d'innovation au Québec. Par conséquent, je suis fière de vous présenter le dernier rapport annuel du projet, dont les travaux se sont échelonnés sur une période de près de cinq années. Ce rapport dresse pour chacun des sous-projets qui ont composé SA²GE, un bilan de l'avancement technologique, des gains environnementaux, de la mobilisation et des retombées économiques anticipées.

Comme vous le constaterez, chacun des sous-projets se solde par un succès à tous les points de vue. En soi, ce résultat est déjà spectaculaire.

Toutefois, il faut aussi se réjouir de l'impact structurant de SA²GE, qui a révolutionné l'innovation collaborative dans l'industrie aéronautique, et même au-delà. À cet égard, je vous invite à lire l'analyse de l'organisme en fin de rapport.

Les bilans des entreprises sont éloquentes malgré les inévitables contraintes de confidentialité associées aux niveaux de TRL visés par SA²GE. Toutes les entreprises partenaires ont fait progresser les technologies d'un grand pas, et plusieurs ont carrément réussi des innovations de rupture (« breakthrough innovation »). La clé de ce succès réside très certainement dans notre exceptionnelle capacité à collaborer. En effet, le nombre de collaborations a été remarquable et s'est étendu au-delà de notre cercle habituel en recrutant les capacités d'innovation provenant d'autres secteurs industriels. Nous avons réussi à intégrer l'innovation ouverte dans nos travaux de recherche pourtant très concurrentiels, pour aller plus loin, plus vite.

Ces collaborations ont impliqué de grandes entreprises, des universités, des centres de recherche, mais aussi et surtout, de nombreuses PME. En effet, SA²GE s'est révélée une plateforme de collaboration avec les PME encore plus porteuse que ce que l'industrie avait imaginé. Outre le taux de mobilisation qui a largement été dépassé, SA²GE a permis d'amorcer une transformation de la culture d'innovation tant chez les grandes entreprises que chez les plus petites.

Avec SA²GE, les PME sont devenues de véritables partenaires d'innovation. En initiant un changement de culture à ce niveau, et en soutenant en particulier le développement de nouvelles technologies manufacturières, SA²GE a contribué à augmenter la productivité des entreprises manufacturières québécoises. Je suis particulièrement heureuse d'annoncer que grâce à SA²GE, un retour à la production locale a débuté; le fameux « reshoring » dont on entend beaucoup parler, mais qu'on voit encore peu. La clé, bien sûr, est la productivité accrue basée sur les capacités de notre personnel hautement qualifié; en innovant, on assure des emplois de grande qualité à notre main-d'œuvre actuelle, ainsi qu'à la relève en formation.

Toutes ces innovations et ces collaborations ont été facilitées par un objectif rassembleur, l'environnement. L'atteinte de gains environnementaux à des coûts compétitifs est un formidable catalyseur d'innovation parce que ça force à penser autrement et que ça place les collaborateurs dans un espace non concurrentiel. À cet égard, le Québec détient des atouts de taille, car la proximité des acteurs joue également un rôle déterminant dans la capacité à collaborer, facilitée par la grappe aérospatiale.

À titre de Directrice du Regroupement, je tiens aujourd'hui à féliciter les équipes avec lesquelles j'ai travaillé au cours des cinq dernières années : vous avez vu grand, vous avez osé et votre travail acharné a porté ses fruits. Ce fut un privilège d'être témoin de ces superbes innovations qui auront un impact majeur sur notre industrie, et ce, pour de nombreuses années. À l'aube d'une seconde phase du projet mobilisateur, le succès de la phase 1 est prometteur, car, comme j'aime le dire, « en collaborant mieux, on peut innover plus »!



DOMINIQUE SAUVÉ,

Directrice

**Regroupement pour le développement de
l'avion plus écologique**

Présidente

IODS

MISE EN CONTEXTE

Le projet mobilisateur de l'avion plus écologique, renommé SA²GE pour Systèmes Aéronautiques d'Avant-Garde pour l'Environnement, était un projet de recherche et développement en partenariat public-privé d'une durée de 5 ans. Mis en place par le gouvernement du Québec dans le cadre de la Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation (SQRI), le projet avait pour ambition de mobiliser un vaste nombre d'entreprises et de chercheurs autour de technologies porteuses d'avenir.

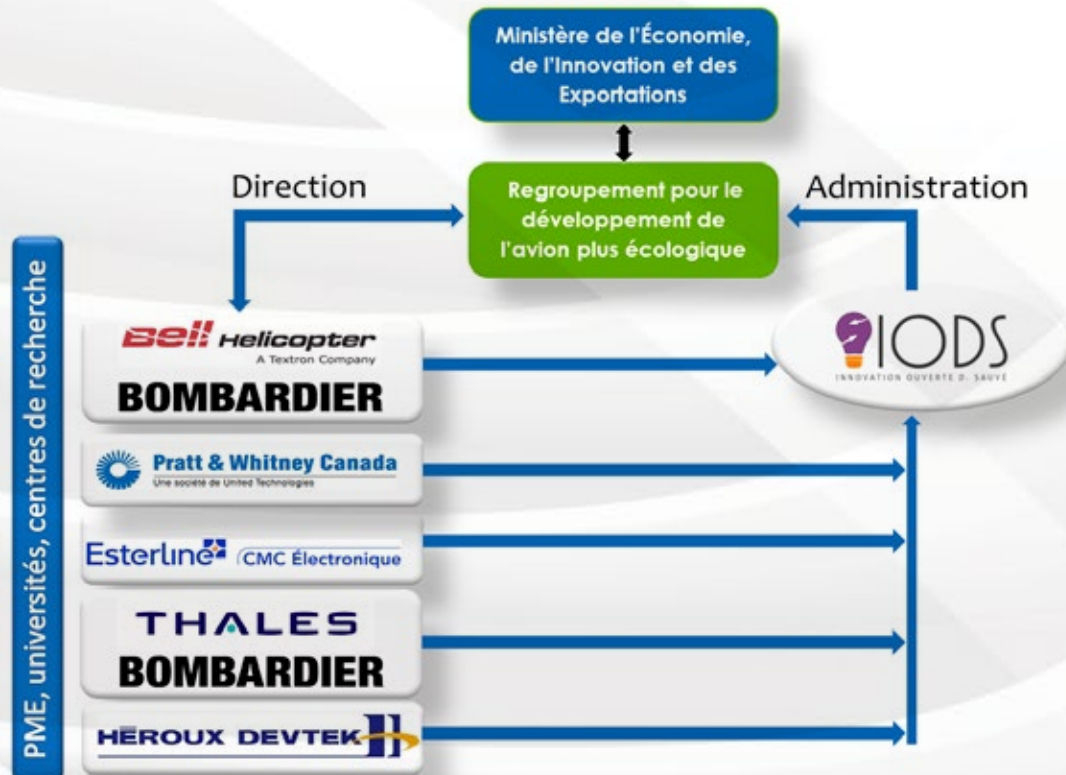
SA²GE était piloté par un organisme sans but lucratif, le « Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique » dont l'administration était confiée à une PME indépendante, IODS. Tout au long de SA²GE, l'organisme a coordonné la reddition de comptes et surveillé l'évolution des travaux

en veillant au respect de la convention de subvention ainsi que des autres ententes légales régissant le projet mobilisateur. Sa gouvernance a été assurée par un conseil d'administration composé de 9 administrateurs et 3 observateurs, ainsi que d'un comité exécutif composé de 5 administrateurs.

MODALITÉS DU PROJET

SA²GE se déclinait en 5 sous-projets ciblant différentes technologies de l'avion : le fuselage, le compresseur, l'avionique et le train d'atterrissage.

Chaque industriel à la tête d'un sous-projet était tenu de soumettre un rapport semestriel relatant les avancées technologiques, environnementales et



Organigramme de gouvernance



Conseil d'administration (mars 2015). De gauche à droite : Sophie Juignier, Robert Guertin, Denis Faubert, Nadia Jean, Dominique Sauvé, Pierre Rioux, Fassi Kafyeke, François Provencher, Rémy Langelier, Erik Masella, Sylvie Béland, Gilles Brabant et Suzanne Benoit. Absents : Patrick Champagne, Gilles Neron, Gilles Bourgeois et Normand Raymond

de mobilisation pour les derniers six mois. À la suite de la révision et de l'approbation de ces rapports par le Regroupement, puis par le gouvernement du Québec, les industriels touchaient une part de la subvention correspondant à 46 % de leurs dépenses anticipées pour la période suivante. Un correctif était appliqué pour tenir compte de l'écart entre les dépenses réelles et celles anticipées. Par ailleurs, les industriels devaient remettre annuellement un rapport de coûts produit par une firme d'auditeurs externe (« certificat d'audit »). Enfin, un rapport annuel d'activités était préparé chaque année par l'organisme, afin de présenter au public l'avancement des travaux, dans la mesure où les enjeux de confidentialité le permettaient.

Défis de confidentialité liés aux projets à haut TRL

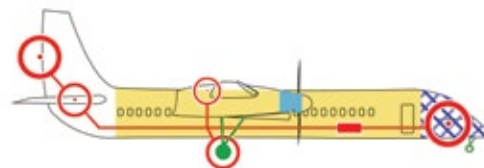
Dès le départ, les partenaires industriels* ont exprimé leur préoccupation face aux enjeux de confidentialité. Des mesures ont donc été mises en place et divers niveaux d'information ont été établis par les entreprises, selon qu'elles transmettent des données à l'organisme et au ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations, aux administrateurs

ou au public. Malgré la frustration évidente de ne pouvoir dévoiler au public les résultats les plus spectaculaires comme certaines innovations de rupture, les instances pertinentes ont eu accès à toutes les informations nécessaires pour exercer un jugement éclairé.

Chaque entreprise a trouvé sa façon d'y arriver, par une panoplie d'informations écrites, verbales et visuelles, transmises de diverses façons : sites internet sécurisés, réunions de conseils d'administration, visites en entreprise, rencontres privées.

*On entend par « partenaires industriels », les entreprises qui ont dirigé un sous-projet dans SA²GE Phase 1 soit Bombardier, Bell Helicopter Textron Canada Limitée, Esterline CMC Électronique, Pratt & Whitney Canada, Thales Canada et Héroux Devtek.

Aéronef comportant toutes les technologies développées dans SA²GE



BILAN DU FINANCEMENT

Comme prévu initialement, le projet a totalisé un investissement de 150 millions de dollars dont 80 proviennent de l'industrie et 70 du gouvernement provincial.

Québec 

LISTE DES SOUS-PROJETS ET PARTENAIRES INDUSTRIELS GESTIONNAIRES DE PROJETS

1. Structure de fuselage d'aéronefs en matériaux composites



BOMBARDIER

2. Compresseur de prochaine génération



Pratt & Whitney Canada
Une société de United Technologies

3. Avionique intégrée pour les applications de poste de pilotage



4. Avionique modulaire intégrée pour les systèmes critiques

THALES

BOMBARDIER

5. Train d'atterrissage de l'avenir



PERTINENCE DES SOUS-PROJETS

Ces projets de niveau technologique démonstrateur poursuivent tous l'objectif de réduire l'empreinte écologique de l'aviation, que ce soit par une économie de carburant en vol ou la réduction des ressources nécessaires à la fabrication. Le caractère environnemental des technologies développées de nos jours constitue une condition sine qua non à la pérennité de l'industrie aéronautique québécoise sur l'échiquier mondial.

L'aide financière du gouvernement donne les moyens aux entreprises québécoises d'investir en temps et en argent dans la recherche et développement (R-D). Par ailleurs, en soutenant l'innovation sur le plan de la démonstration des technologies, c'est tout l'avenir du secteur qui est soutenu. Les emplois hautement qualifiés dans 5 ou 10 ans dépendent de ce qui se fait maintenant en R-D.

Ces projets dits « mobilisateurs » pour la province, ont permis de mobiliser un certain nombre de PME, d'universités (étudiants et chercheurs) et de centres de recherche. Les buts recherchés sont le développement de l'expertise québécoise, la création et le maintien au Québec des emplois hautement qualifiés.

Véritable catalyseur d'innovation, SA²GE a permis de nombreuses innovations à caractère environnemental qui sont présentées dans les pages suivantes :

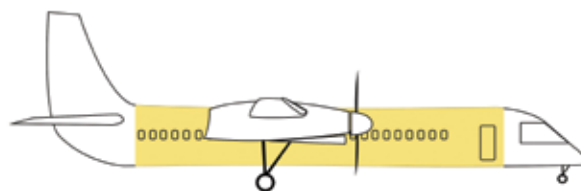
STRUCTURE DE FUSELAGE D'AÉRONEFS EN MATÉRIAUX COMPOSITES CO-LEADERS : BELL HELICOPTER TEXTRON CANADA LIMITÉE ET BOMBARDIER

Principaux objectifs environnementaux : Réduire le poids de l'appareil pour une réduction de carburant et augmenter l'efficacité des procédés de fabrication

Les matériaux composites sont utilisés depuis longtemps en aéronautique dans la fabrication de pièces secondaires en raison notamment, de leur légèreté. Toutefois, la légèreté ne peut être obtenue aux dépens d'autres propriétés comme la résistance aux chocs ou à la foudre; c'est pourquoi les matériaux composites n'étaient pas encore utilisés sur les structures primaires des fuselages jusqu'à très récemment. Compte tenu des préoccupations environnementales généralisées dans l'industrie, réduire le poids des avions et par extension, la quantité de carburant nécessaire à leur vol est devenu une priorité. C'est dans ce contexte que sont nés les projets de Bell Helicopter Textron Canada Limitée et de Bombardier, « Structure de fuselage d'aéronefs en matériaux composites ».

Alors que Bell Helicopter visait à concevoir des structures d'hélicoptères en matériaux composites, Bombardier quant à elle s'intéressait aux structures d'avion en matériaux composites.

Bien que le projet avait pour ambition une collaboration entre les deux maîtres d'œuvre, il est apparu tôt dans l'exécution du sous-projet (alors que la définition des tâches à accomplir était encore en cours) que les besoins technologiques respectifs divergeaient trop pour aspirer à une synergie des travaux. Ainsi, hormis les analyses environnementales, les deux sous-projets ont finalement été menés indépendamment l'un de l'autre.



SOUS-PROJET DIRIGÉ PAR BELL HELICOPTER TEXTRON CANADA LIMITÉE

Démonstration de procédés de fabrication, d'assemblage et d'inspection pour la fabrication d'un fuselage d'hélicoptère en composites

« Renforcement de l'expertise en aérostructure civile au Québec »

Bell Helicopter Textron Canada Limitée (BHTCL) a travaillé au développement de technologies qui permettront une utilisation plus poussée des matériaux composites dans la fabrication de structures de fuselage d'hélicoptère.

La recherche appliquée de BHTCL a porté sur un certain nombre de technologies dont le développement de procédés manufacturiers basés sur l'infusion de résine sous vide, le placement automatisé de fibres, le moulage par compression, ainsi que sur le développement de procédés pour pallier au fait que les matériaux composites ne sont pas de bons conducteurs électriques, contrairement aux matériaux métalliques conventionnels. Des techniques d'inspection non destructrice, des procédés de collage et des techniques de réparation ont aussi été étudiés. Enfin, des essais structuraux ont été menés pour colliger les données qui seront éventuellement nécessaires lors de la conception de pièces réelles basées sur l'utilisation de ces procédés manufacturiers.

Plus spécifiquement, le sous-projet piloté par BHTCL visait à étudier différents concepts d'assemblage d'un fuselage d'hélicoptère, incluant une démonstration manufacturière des procédés de fabrication développés. Le sous-projet a permis la génération de données manufacturières associées aux technologies développées qui serviront ultérieurement à une prise de décision éclairée lors de la définition de futurs modèles d'hélicoptère.

Un sous-projet d'une telle envergure et axé sur le développement et la démonstration de technologies a inévitablement résulté en une multitude de gains de connaissances et de compétences pour tout le personnel impliqué :

Principales réalisations

Des structures de fuselage d'hélicoptère spécifiques ont été identifiées comme cibles principales de ce sous-projet. BHTCL a par la suite procédé à leur conception détaillée, ce qui a permis d'identifier avec précision les procédés manufacturiers à utiliser, ainsi que de concevoir et fabriquer l'outillage nécessaire à leur fabrication. Parallèlement à ces efforts de conception et de fabrication de l'outillage, BHTCL a procédé à des essais de développement des procédés manufacturiers afin de valider les approches manufacturières sélectionnées. De façon générale, les technologies étudiées ont progressé de TRL 4 à TRL 6.

L'outillage nécessaire à ce sous-projet a fait l'objet d'une étroite collaboration entre BHTCL, PCM Innovation, Aircraft Tool Design (ATD) et le Centre des technologies de fabrication en aérospatiale (CTFA) du Conseil National de Recherches Canada (CNRC) qui ont conjointement conçu et fabriqué une grande partie de l'outillage spécialisé nécessaire à la conduite du projet.

Quant au CTFA du CNRC, il a été mandaté pour la réalisation de certaines composantes structurales en plus de contribuer au développement des procédés de collage, des procédés de moulage par compression, et à l'évaluation d'une technique d'inspection non destructrice des pièces en matériaux composites.

Tout au long du projet et tout particulièrement au cours de la dernière année, des essais de fabrication ont permis de mettre à l'essai les concepts manufacturiers envisagés. Ces concepts, de même que les procédures de fabrication s'y rattachant, ont été adaptés selon les résultats observés. Certaines des pièces ainsi fabriquées ont été soumises à des essais structuraux destructifs pour valider leur performance structurale.

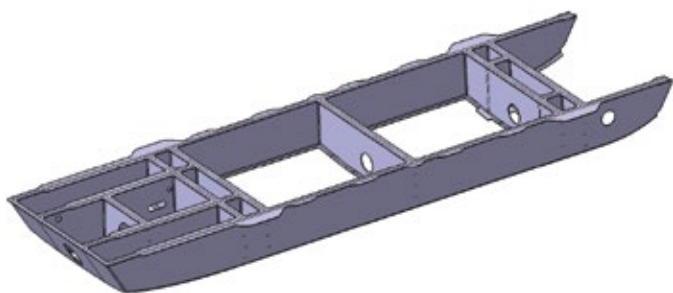


Élément de structure fabriqué par la méthode de moulage par compression



Panneau d'accès typique fabriqué par la méthode de placement automatisé de fibres

Grâce à SA²GE, Bell Helicopter a acquis le savoir-faire et les concepts d'outillage associés à la fabrication d'une structure en matériaux composites d'un plancher d'hélicoptère.



Plancher d'hélicoptère en matériaux composites

Bell Helicopter a également acquis le savoir-faire et les concepts d'outillage associés à la fabrication d'une très grande pièce de structure en matériaux composites intégrant le revêtement extérieur, et plusieurs éléments de structure primaire.

Pour innover ensemble, il faut étendre la notion de travail d'équipe

Quatre PME, un centre de recherche public et six étudiants universitaires ont été impliqués dans le sous-projet : PCM Innovation, ATD et le CTFA-CNRC ont participé étroitement à la conception et à la fabrication des outils nécessaires à ce sous-projet. Coriolis Composites Canada, le CTFA-CNRC et Hutchinson (Marquez Transtech) ont participé au développement de certains des procédés de fabrication et d'inspection non destructive. Finalement, les étudiants universitaires ont été intégrés à même les équipes internes de spécialistes de Bell Helicopter ce qui leur a apporté une expérience de travail pratique hautement spécialisée reliée aux matériaux composites.

COUP DE



SA²GE

Le superbe effet catalyseur joué par l'environnement

Alors que l'obligation minimale était de mobiliser des PME québécoises à hauteur de 5 % de la valeur de son sous-projet, Bell Helicopter s'est distinguée en mobilisant à près de 14 % ses PME participantes. On doit cet accomplissement en partie au superbe effet catalyseur joué par l'environnement. En effet, l'atteinte de gains environnementaux à des coûts compétitifs constitue un véritable levier dans la mesure où c'est rassembleur et parce que ça force à penser autrement. La preuve, le projet SA²GE a initié un changement de paradigme entre grandes et petites et moyennes entreprises. Cette dimension est cruciale pour le Québec, dont l'un des éléments différenciateurs est la qualité des relations de son industrie aéronautique. La proximité géographique des entreprises, maintenant combinée à ce changement de paradigme renforce le dynamisme du secteur et sa capacité d'innovation.

Comme mentionné précédemment, ce sous-projet a amené le CTFA-CNRC à travailler en étroite collaboration avec BHTCL et ce, sur une variété de tâches. Le lien d'affaires entre les deux organisations en a ainsi été largement renforcé.

Les étudiants universitaires quant à eux, ont eu la chance d'être intégrés à une équipe d'ingénieurs et de technologues hautement expérimentés et de travailler sur des technologies d'avant-garde. Par ces stages, ils comprendront mieux ce qu'est le rôle d'un ingénieur et ils seront mieux préparés à entrer sur le marché du travail à la fin de leurs études.

L'instauration d'une méthode de travail hautement collaborative avec les partenaires constitue l'une des avancées majeures découlant de ce sous-projet du point de vue de BHTCL. Cela permet de faire avancer le travail beaucoup plus rapidement qu'avec l'approche transactionnelle habituelle qui découle d'une relation contractuelle fournisseur-client.

« Les employés de Bell Helicopter et de nos partenaires ont travaillé comme s'ils faisaient partie d'une même organisation. Par exemple, PCM Innovation a pu commencer à fabriquer un outil avant même que sa conception soit complètement terminée. Et comme certains outils étaient basés sur l'utilisation d'un nouveau matériau,

PCM Innovation était en mesure de fournir une rétroaction rapide à l'équipe de conception, afin d'ajuster la conception de l'outil de manière à atteindre le résultat désiré sans avoir à faire de corrections après la fabrication initiale de l'outil.

Nos partenaires et leurs employés étaient en quelque sorte un ajout intégré à nos propres équipes de spécialistes, ce qui permettait un échange continu de connaissances entre les partenaires. » Pierre Rioux, Directeur Technologie et sciences du vol chez Bell Helicopter Textron Canada Limitée

Les employés des participants industriels ont donc eu la chance de participer à un projet de développement technologique d'envergure dans un climat de collaboration qui diffère considérablement du climat transactionnel auquel ils sont normalement exposés lorsqu'ils participent à des contrats de fabrication en sous-traitance. Ils peuvent ainsi être fiers d'avoir participé à un effort de recherche et de développement qui non seulement redéfinit l'avenir des structures primaires en composites, mais également positionne avantageusement leur employeur dans ce nouvel environnement.

La réduction de l'impact environnemental, une préoccupation prise en compte tout au long de la conception

Il est à noter que les articles de démonstration fabriqués ne visaient pas à optimiser la réduction de poids, mais visaient plutôt la validation de l'approche manufacturière sachant que l'optimisation du poids pourrait se faire lors de l'application de la technologie à un produit futur.

« Lorsque l'on compare les pièces en matériaux composites résultant du sous-projet avec les pièces comparables produites au cours des deux dernières décennies pour les hélicoptères en cours de production, nous estimons avoir réduit le poids de ces nouvelles pièces d'environ 5 %. De plus, nos analyses démontrent qu'après optimisation il serait possible d'atteindre une réduction de poids entre 10 % et 15 %. Une telle réduction de poids résultera en une réduction des gaz à effet de serre lorsque la nouvelle technologie sera utilisée dans un produit futur.

Nous estimons de plus avoir fait passer le ratio "buy-to-fly" de ces pièces d'environ 170 % à environ 105 %. Cela signifie que pour produire 100 kg de pièces en se servant des technologies développées par le sous-projet, Bell Helicopter aurait besoin d'acheter environ 105 kg de matières premières plutôt que les 170 kg nécessaires avec les méthodes de fabrication présentement utilisées pour la production. » James Corrigan, Senior Technical Staff Specialist – Xworx Research & Development chez Bell Helicopter Textron Canada Limitée

SA²GE, un moyen de se démarquer au sein même d'une corporation

En conclusion, Bell Helicopter a réussi à développer une méthode permettant de concevoir, fabriquer et assembler des pièces en matériaux composites beaucoup plus rapidement que ce qui se fait en ce moment pour les hélicoptères en cours de production. Il est estimé que les coûts de fabrication de structures ainsi conçues, fabriquées et assemblées se comparent favorablement aux coûts des structures métalliques conventionnelles fabriquées dans

les pays à plus faible coût de main-d'œuvre. Une telle avancée technologique permet d'envisager le maintien d'emplois hautement qualifiés au Québec. Par ailleurs, les pièces en matériaux composites ainsi conçues et intégrées dans des structures seront 10 % à 15 % plus légères que les pièces et structures métalliques conventionnelles qu'elles remplaceront, ce qui contribuera à l'allègement des appareils en vol de demain.

Grâce à ce sous-projet, les ingénieurs et les technologues en aérospatiale de BHTCL se sont démarqués au sein de la multinationale Bell Helicopter par leur capacité à innover. Ils sont maintenant mieux équipés pour s'attaquer à des mandats de développement de futurs hélicoptères grâce à une capacité démontrée à concevoir et à assembler un fuselage en matériaux composites.

APERÇU CHIFFRÉ :

- 4** PME participantes
- 6** étudiants universitaires impliqués
- 1** centre de recherche
- 50** innovations technologiques dont
- 14** en instance d'évaluation pour des brevets potentiels

SOUS-PROJET DIRIGÉ PAR BOMBARDIER

DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE, VIRTUEL ET MANUFACTURIER, DE STRUCTURES D'AVION EN MATÉRIAUX COMPOSITES DE SECONDE GÉNÉRATION

« Développer des technologies performantes pour augmenter la compétitivité du Québec »

Bombardier a développé un portefeuille de solutions éco-design visant à améliorer divers procédés de fabrication de pièces en composites. Il en résulte non seulement des gains de productivité importants, mais surtout des pièces de haute qualité, plus respectueuses de l'environnement. Parmi les réalisations dominantes, on compte notamment une technique de moulage par injection appliquée à des pièces de fuselage, et un tout nouveau mode de co-cuisson de pièces.

Au-delà des avancées technologiques, le projet se distingue par l'émergence d'un nouveau modèle d'affaires mis en place par Bombardier pour la réalisation d'activités de développement précompétitives. La base de ce nouveau modèle d'affaires repose sur la collaboration étroite avec les centres de recherche, universités et PME québécoises, ainsi que sur une combinaison d'éléments gagnants : une bonne gestion des connaissances, de l'ingénierie de pointe, la fabrication de prototypes et leur

inspection rigoureuse. Né de l'esprit de SA²GE et favorisé par les conditions du projet mobilisateur, ce modèle d'affaires permettra à Bombardier de demeurer concurrentiel et de conserver au Québec son personnel hautement qualifié.

« L'impact du projet est énorme au niveau de notre département de recherche et développement, car c'est dans ce projet qu'a été mis en place un réseautage varié de PME et centres de recherche & universités, mais aussi à l'interne, d'une équipe multi-disciplinaire. Cette combinaison gagnante permettra dans le futur de supporter des initiatives lucratives pour le Québec, essentielles pour l'économie locale. » Alain Landry, Chef de service, Développement de la technologie des aérostructures, Bombardier



Aperçu du démonstrateur en matériaux composites

Une panoplie de solutions éco-design

Les technologies développées englobent une panoplie de procédés robustes et répétables. Il en découlera des pièces offrant des performances accrues, à des prix plus abordables. En bout de piste, ces technologies avancées requièrent une main-d'œuvre spécialisée ainsi que des investissements d'infrastructures, et permettent d'envisager l'obtention de futurs contrats. En accord avec le nouveau modèle d'affaires R-D, la stratégie consiste à déployer les technologies autant dans la chaîne d'approvisionnement locale, c'est-à-dire chez les PME québécoises, qu'au Centre Manufacturier de Saint-Laurent, à Montréal.

Aperçu des axes de développement du sous-projet dirigé par Bombardier :

- Matériaux & procédés plus respectueux de l'environnement
- Optimisation des processus et de la conception
 - Co-cuisson de revêtements et de raidisseurs*
 - Moulage par injection de cadres de fuselage*
 - Système de cuisson éco-énergétique*
 - Inspection de dépôt de fibre automatisé*
- Protection d'interférence électromagnétique
- Système de monitoring de structures
- Stratégie d'outillage

Procédés de co-cuisson et moulage par injection (RTM)

La co-cuisson de revêtement de fuselage et de raidisseur s'est avérée un succès, tout comme le moulage par injection de cadres de fuselage. Les bénéfices sont nombreux et vont bien au-delà de

la réduction de poids : à titre d'exemple, citons la réduction spectaculaire du nombre de pièces et attaches. Les connaissances développées seront certainement avantageuses dans l'obtention de contrats externes tout comme dans les futurs programmes d'avion.

Essais électromagnétiques

Divers systèmes de protection électromagnétique ont été développés et certains, testés en laboratoire. Ces technologies auxiliaires pourront être mises en œuvre sur des composantes spécifiques lorsque requis ou bien, de façon générale, seront intégrées à d'autres technologies de fabrication.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les structures en matériaux composites offrent de nombreux avantages et permettent notamment de réduire considérablement le poids des avions. Malheureusement, les méthodes traditionnelles de fabrication de pièces en composites n'offrent pas le blindage électromagnétique suffisant pour protéger les passagers, équipages et systèmes avioniques. Des ajouts sont nécessaires et prennent souvent la forme de grillages superposés au revêtement; ces ajouts pénalisent la structure par leur poids additionnel. Partout sur la planète, une course est donc ouverte pour la recherche de solutions alternatives.

Cuisson éco-énergétique

La technologie de cuisson éco-énergétique a largement dépassé les objectifs fixés au début de SA²GE, en permettant une réduction énergétique moyenne de 50 % par rapport à un procédé de cuisson traditionnel.

« Le système de cuisson éco-énergétique constitue une alternative avantageuse à la chauffe d'outillage métallique lourd, car il est moins énergivore et offre aussi un contrôle des cycles de cuisson très précis. La PME québécoise Automatisation Pike a été mobilisée dans le développement du système de chauffe au Québec. » Didier Hoste, Chef de section, Développement de la technologie des aérostructures, Bombardier

Inspection de dépôt de fibres automatisé

La technologie d'inspection développée grâce au projet SA²GE va rapidement révolutionner les méthodes d'inspection en cours. En effet, les progrès réalisés sont tels que la technologie est présentement en cours d'implémentation au Centre Manufacturier de Saint-Laurent, à Montréal. Un investissement de plusieurs millions de dollars est prévu à cet effet en 2016.

LES BONS COUPS :

Dans le cadre de la Chaire d'automatisation des matériaux composites, deux licences de brevets, développés par Bombardier au sujet du projet d'inspection de dépôt de fibres automatisé, ont été partagées avec l'Université Concordia et Bell Helicopter.

Système de monitoring

La technologie de monitoring va permettre d'augmenter de 10 % à 20 % la durée des intervalles entre les inspections. Cela permettra donc une réduction des coûts d'inspection, et aussi une réduction du temps d'avion au sol, avantages cruciaux pour les propriétaires d'avion.



Test de fréquence électromagnétique

COUP DE



SA²GE

Les efforts de mobilisation de Bombardier, récompensés par l'ADRIQ

De concert avec les participants à son projet, Bombardier a remporté un prix Partenariat de l'Association pour le Développement de la Recherche et de l'Innovation au Québec (ADRIQ) en reconnaissance de son partenariat de recherche entreprises – universités – collèges portant sur son projet de développement du procédé de moulage par injection.

Bombardier, le Centre technologique en aérospatiale (CTA), l'Université McGill, Hutchinson (anciennement Marquez), FDC Composites, Automatisation Pike et Weber Manufacturing ont formé une équipe exceptionnelle de développement sur le composite, dans un esprit d'innovation ouverte. Un réel incubateur d'accélération de développement de technologie s'est mis en place. Ce projet a favorisé l'essor de la chaîne d'approvisionnement en matériaux composites au Québec, la formation de personnel hautement qualifié (PHQ) et le développement rapide de procédés pour la fabrication de pièces aérospatiales.



Prix du meilleur partenariat entreprises – universités – collèges

LES BONS COUPS :

Dans le cadre du projet SA²GE, Bombardier a développé une méthodologie visant la résolution de problèmes technologiques, et ce, à partir d'outils de gestion connus. Cette méthodologie, véritable pierre d'assise de la recherche et développement chez Bombardier, permet non seulement de structurer le processus d'innovation, mais aussi de transférer et diffuser les connaissances au sein de Bombardier. Cette bonne pratique ayant été partagée avec les participants au projet de Bombardier, plusieurs PME et centres de recherche tirent maintenant profit de la méthodologie. Les effets structurants de SA²GE se feront donc sentir longtemps !

Apport de valeur ajoutée par chacun des mobilisés

Au sein de SA²GE, Bombardier s'est distinguée par son taux de mobilisation élevé tant au niveau des PME que des centres de recherche. Cette mobilisation se mesure en termes de qualité, c'est-à-dire l'impact stratégique et la profondeur de la mobilisation, mais également en termes de dépenses. À l'issue du projet, l'équipe de Bombardier se réjouit de constater que tous ont contribué par leur savoir-faire au succès des activités entreprises.

« Le projet a permis de développer des procédés uniques assurant une qualité élevée de pièces composites, plus légères et à efficacité énergétique élevée. Nos partenaires ont participé au développement de technologies d'avenir, les favorisant pour devenir des fournisseurs de classe mondiale en composantes structurales d'aéronefs »

Fassi Kafyeke, Directeur principal, Technologies stratégiques et développement de produits avancés, Bombardier

En plus d'avoir une grande valeur pour le secteur aéronautique québécois, les connaissances acquises par les PME mobilisées peuvent être transposées à d'autres secteurs d'activités. En effet, les procédés de co-cuisson et de moulage par injection par exemple, sont des technologies très prisées dans le milieu des composites et les connaissances acquises renforcent le portfolio des participants au projet.

Par ailleurs, un support de qualification de site a été offert à Hutchinson, Delastek et FDC Composites dans le cadre de SA²GE. Les entreprises qualifiées sont bien sûr considérées en priorité pour la fabrication de composantes de structures primaires.

Alors que les PME impliquées dans le projet ont bénéficié d'une certaine visibilité sur les priorités de développement d'un maître d'œuvre comme Bombardier et d'une mise à niveau technologique pour un avantage concurrentiel accru, les centres de

recherche et universités ont vu la formation de la relève s'accroître et leurs ressources matérielles s'accroître.

« SA²GE a permis l'établissement d'une équipe industrielle dans nos infrastructures, alimentant chaque jour plusieurs étudiants, techniciens, ingénieurs et professeurs en tâches et projets de recherche en aérospace. Cette collaboration a constitué un tremplin extraordinaire pour le développement de l'expertise de l'équipe, en plus de favoriser la création de liens avec les principaux acteurs industriels et académiques dans le domaine des matériaux composites au Québec et au Canada. Enfin, ce partenariat a amené avec lui d'autres projets de recherche au CTA, dans nos autres champs d'expertise comme l'usinage ou l'inspection de composites. D'ailleurs, c'est ce projet qui nous a donné l'impulsion nécessaire pour créer la nouvelle Chaire de recherche industrielle dans les collèges du CRSNG en fabrication de composantes aérospace en matériaux composites », souligne Robin Dubé, ingénieur chercheur pour le groupe développement des matériaux composites et responsable du projet pour le CTA, titulaire de la Chaire de recherche industrielle dans les collèges en fabrication de composantes aérospace en matériaux composites du CRSNG.



Centre de développement manufacturier au Centre de Formation Professionnelle des Moulins

Le Centre de Formation Professionnelle des Moulins est un autre bel exemple de collaboration réussie. Un laboratoire complet y a été installé conjointement, et des formations ont été développées pour les équipes d'ingénierie de Bombardier, afin de permettre aux ingénieurs et analystes du projet SA²GE de fabriquer eux-mêmes des pièces et ainsi mieux saisir les enjeux de la technologie développée en lien avec leur domaine d'expertise. « *Si je n'avais qu'un mot pour décrire le projet, je dirais "Innovateur". Ce projet nous a permis de challenger les nouvelles solutions de mise en œuvre des matériaux composites* » Pierre Caron, enseignant en matériaux composites, Centre de formation professionnelle des moulins.

Un impact sur l'environnement qui profite à toute la communauté

Les technologies développées offrent de multiples avantages sur le plan environnemental. Il est clair que les avantages qu'offre la réduction du poids de l'avion sont multiples : augmentation du rayon d'action, poids de cargaison supérieur, performances avion accrues.

Les activités d'analyse et de procédé de fabrication permettent d'anticiper une réduction de poids des structures de 8 %. Cela réduira donc les émissions de CO₂ de 4800 tonnes sur la durée de vie d'un avion typique, soit l'équivalent de 1350 voitures moyennes sur un an.

Des avancées significatives ont aussi été réalisées dans la réduction de produits à base de chromates et plusieurs technologies de remplacement plus saines pour l'environnement ont été développées.

SA²GE, un tremplin pour l'avenir

Les technologies clés du projet ont été développées du niveau de maturité technologique TRL3 au niveau TRL6.

Au vu des exceptionnelles avancées obtenues grâce à SA²GE, Bombardier envisage démarrer de nouveaux projets collaboratifs au cours de la prochaine année dans les domaines de l'inspection des matériaux composites ou encore du recyclage. Ces projets sont susceptibles de voir le jour au travers de l'un ou l'autre des programmes suivants : CARIC, GARDN, CRIAQ, PART.

En conclusion, les objectifs ultimes atteints sont les suivants :

- Innovation et propriété intellectuelle accrues
- Augmentation de la capacité manufacturière québécoise
- Création d'emplois de qualité

APERÇU CHIFFRÉ :

- 6 PME participantes
- 16 étudiants
- 4 universités
- 4 centres de recherche
- 18 brevets déposés ou en instance
- 25 personnes mobilisées par le projet chez Bombardier

COMPRESSEUR DE PROCHAINE GÉNÉRATION LEADER : PRATT & WHITNEY CANADA (P&WC)

Conception et démonstration d'un nouveau compresseur à haute efficacité pour la prochaine génération de turbopropulseurs

« Les fondations technologiques pour la prochaine génération de turbopropulseurs »

Principaux objectifs environnementaux : réduction des émissions de CO₂ et d'oxydes d'azote (NO_x)

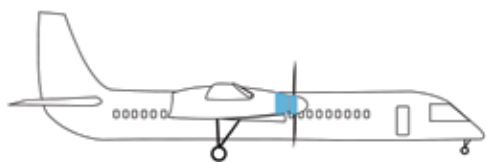
Un projet de démonstration qui se décline en 4 volets : NGRT, NGGA, NTM et MEE

Les projets de démonstration expérimentale de compresseur (NGRT) et de plateforme moteur écologique (NGGA) ont compris la conception, l'acquisition, le développement, l'optimisation et la démonstration de technologies nécessaires à la conception de turbines à gaz compétitives à haut rendement de prochaine génération. Un important volet de nouvelles technologies manufacturières (NTM) a soutenu ces démonstrateurs et a permis des progrès en vue de rendre possible la fabrication de ces nouvelles générations de moteurs. Enfin, des composants compatibles avec l'avion plus électrique (MEE) ont fait l'objet d'un volet complémentaire de développement.

« Le compresseur écologique de prochaine génération (NGRT) à haut rendement ainsi que la plateforme prochaine génération d'aviation générale (Next Gen GA) sont des éléments clés pour maintenir la consommation de carburant des avions turbopropulsés moins élevée de 20 à 40 % par rapport à celle des jets régionaux de prochaine génération. » Yves Rabellino, Directeur principal, gestion des coûts, recherche, technologie et support aux opérations chez Pratt & Whitney Canada

EN BREF :

- Les démonstrateurs ont permis d'acquérir une meilleure compréhension des technologies appliquées aux nouvelles plateformes de manière à assurer la poursuite des efforts de recherche vers des produits commercialisables.
- Un vaste éventail de technologies de fabrication (NTM) a été exploré et développé sous SA²GE. Non seulement les progrès démontrent la faisabilité des méthodes, mais plusieurs laissent même entrevoir des gains significatifs de qualité et de productivité.
- Le démarreur-générateur pour un moteur plus électrique (MEE) a permis de démontrer la faisabilité d'une unité de puissance égale ou supérieure, avec une réduction de poids



Volet NGRT : Conception et démonstration d'un nouveau compresseur à haute efficacité pour la prochaine génération de turbopropulseurs destinés à l'aviation régionale (70 à 90 passagers)

Le volet NGRT visait le développement de compresseurs avancés supportant des cycles thermodynamiques de haut rendement énergétique. Plus spécifiquement, le volet NGRT portait sur l'amélioration de l'efficacité des composantes du compresseur par rapport aux produits existants, ainsi que la réduction des substances dangereuses utilisées au cours de la fabrication.



Compresseur écologique de prochaine génération (NGRT)

Parmi les défis technologiques relevés :

- **Aérodynamique de pointe** : L'utilisation de solutions aérodynamiques nécessite une série de démonstrateurs afin de transformer les prédictions analytiques en produit commercialisable. L'avancée de la modélisation 3D requiert une foule de petits détails, qui, une fois mis ensemble, permettent de repousser les limites établies. Parmi ceux-ci, notons une modélisation numérique et dynamique des fluides en 3D du compresseur complet, impossible il y a quelques années seulement.
- **Alliages haute température** : Avec l'augmentation du rapport de pression vient une augmentation de la température des gaz à la sortie du compresseur et une vitesse rotative accrue. Les contraintes imposées sont énormes, et constituent un défi remarquable.
- **Système de mesure** : Afin de calibrer le démonstrateur, des solutions d'instrumentation innovatrices ont été créées, permettant une caractérisation poussée et des résultats complets et de hautes qualités.



INNOVATION : LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT, UN CERCLE VERTUEUX

Plusieurs volets de recherche réalisés par P&WC dans le cadre du projet SA²GE ont d'abord été initiés comme projets de recherche de bas TRL au CRIAQ. D'autres travaux antérieurs et fondateurs à ceux entrepris dans SA²GE ont aussi été réalisés par l'une ou l'autre des nombreuses chaires de recherche auxquelles participe P&WC, comme la Chaire industrielle CRSNG/Pratt & Whitney/J.-A. Bombardier en conception intégrée pour un avion efficace (IDEA) ou encore la Chaire de recherche industrielle CRSNG-P&WC sur l'intégration et l'optimisation du système de propulsion. SA²GE a donc permis de faire progresser l'avancement technologique à des niveaux de TRL supérieurs, généralement jusqu'au TRL 6 à l'issue de SA²GE. L'intégration de ces améliorations fait inévitablement surgir de nouveaux défis, de nouvelles questions, ce qui fournit la matière à de nouveaux sujets de recherche plus fondamentale. Ainsi, les succès retentissants de certains aspects du NGRT sous SA²GE ont amené P&WC à lancer 5 nouveaux projets collaboratifs CRIAQ ou CARIC.

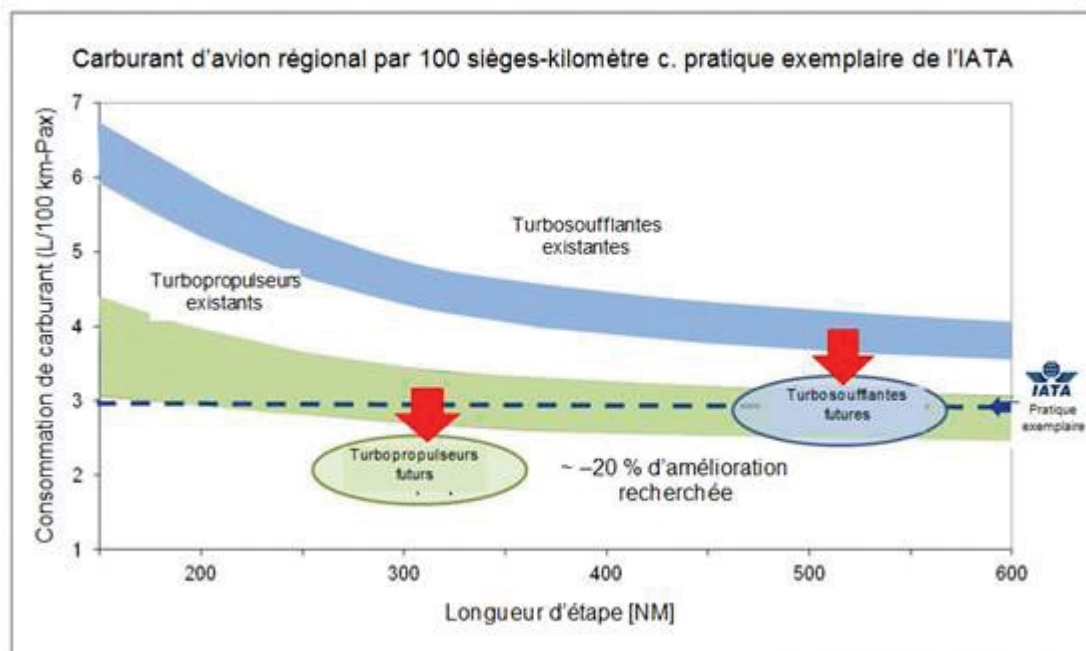
Les essais du compresseur ont été réalisés en trois phases distinctes : l'usinage des composantes majeures, l'assemblage et l'instrumentation.

Objectifs atteints

Les objectifs technologiques sont atteints, y compris le principal objectif qui visait à améliorer l'efficacité du compresseur. Bien que l'amélioration entière ne sera disponible que lors des essais finaux et complets, le progrès réalisé sous SA²GE permet d'anticiper que les gains d'efficacité seront à la hauteur des objectifs estimés. Des brevets ont été déposés ou sont en instance de l'être, attestant du succès du projet. Certains résultats seront également publiés dans des conférences internationales au cours des années à venir.

Les bénéfices environnementaux sont tout autant au rendez-vous. Dans l'éventualité d'une mise en service d'un moteur incorporant les technologies du NGRT, les aviateurs pourront bénéficier d'une consommation très faible par passager qui est en ligne avec les objectifs de consommation par passager fixés par l'IATA, soit une consommation sous la barre des 3 L/100 km/Pax. Le graphique ci-après montre la tendance des prochaines générations d'avions, ainsi que l'objectif IATA de consommation par passager.

TENDANCES DE CONSOMMATION DE CARBURANT



Cette diapositive ne contient aucune donnée technique assujettie au contrôle des exportations

 **Pratt & Whitney Canada**
 A United Technologies Company

8

LE SAVIEZ-VOUS?

On estime que les coûts de carburant constituent plus de 25 % des coûts opérationnels d'un avion turbopropulsé. Une économie de carburant de 15 % à 20 %, comme celle anticipée pour un avion de prochaine génération équipé d'un moteur à technologie NGRT, peut représenter environ 50 % de la valeur initiale de l'avion sur la vie de l'appareil. Les enjeux sont importants, c'est pourquoi la concurrence est féroce entre les équipementiers !

Volet NGGA : Conception et démonstration d'un concept de moteur destiné à l'aviation générale (2 à 8 passagers)

Outre le démonstrateur de compresseur vert NGRT, l'aide de SA²GE a permis à P&WC la démonstration d'un nouveau turbopropulseur pour l'aviation générale. Comme avec le NGRT, l'objectif demeure la réduction de la consommation de carburant par rapport aux produits existants.

Parce que ce volet démarrait à des niveaux de TRL plus bas que le NGRT, un nouveau département d'innovation a été créé et plusieurs concepts nouveaux ont rapidement été développés. De nombreux outils de modélisation et d'analyse ont été mis au point, générant plusieurs acquis de propriété intellectuelle. Des fournisseurs locaux ont été mis à contribution pour la fabrication des pièces clés, notamment Technique Surface Lab (TSLab), Meloche, Vac Aero et APN. Tous ont dû repousser les limites de leurs procédés pour répondre aux exigences spécifiques du produit. Bien que certaines de ces entreprises n'aient pas été portées au nombre des PME mobilisées, notamment à cause du statut embryonnaire des collaborations, il apparaît au terme de SA²GE que plusieurs de ces collaborations vont prendre un essor important au fil des prochains mois. Cela traduit bien la difficulté de quantifier la mobilisation, un phénomène fluide et complexe.

Volet NTM : Maturation de nouvelles technologies manufacturières

Un volet important du sous-projet dirigé par P&WC portait sur le développement de nouvelles technologies manufacturières (NTM) requises pour la fabrication de la nouvelle génération de moteurs de P&WC.

En effet, dans le but d'atteindre le haut niveau de performance visé, les experts manufacturiers de P&WC Longueuil ont développé des méthodes de fabrication menant à une multitude d'améliorations au niveau du fini de surface, de la qualité de forme aérodynamique ou de l'usinage dans les matériaux très durs. À titre d'exemple, les méthodes de fabrication additives ont été utilisées pour fabriquer les diffuseurs, une première chez P&WC.



INNOVATION : LES EFFORTS COMBINÉS DÉCUPLENT LES RÉSULTATS

En décembre 2014, P&WC annonçait un investissement de plus d'un milliard de dollars en recherche et développement (R-D) pendant quatre ans et demi pour développer la prochaine génération de moteurs d'avion à haut rendement. Cet investissement incluait une contribution remboursable de 300 millions de dollars du gouvernement du Canada dans le cadre de l'Initiative stratégique pour l'aérospatiale et la défense (ISAD). Parmi les investissements annoncés figurait la création d'un Centre d'excellence en fabrication intelligente de calibre mondial à Longueuil. Les travaux réalisés grâce à SA²GE ont permis de développer les méthodes appliquées aux cellules intelligentes de ce Centre. Grâce à la complémentarité des aides reçues, le Centre a fait des pas de géants vers son opérationnalisation. En accord avec l'esprit de SA²GE, le développement s'est fait en mobilisant plusieurs PME québécoises. Le lien établi avec la stratégie d'approvisionnement de P&WC est d'ailleurs l'un des succès phares de SA²GE.



Salle de contrôle du banc d'essai

Les travaux de recherche sur les NTM ont porté sur différentes technologies dont :

- Usinage par super abrasif (SAM)
- Lignes/cellules intelligentes
- Moulage par injection métallique (MIM)
- Fabrication additive

Une multitude d'avancées technologiques – quelques faits saillants

L'usinage par super abrasif (SAM) a été réalisé en collaboration avec le CNRC qui a d'ailleurs joué un rôle clé à plusieurs niveaux. Le SAM a permis d'augmenter la durabilité des pièces de compresseurs. Des retombées immédiates ont été enregistrées, car certains aspects de la technologie SAM ont pu être intégrés rapidement à la production. C'est aussi le cas des technologies développées à travers la cellule intelligente, dont certains bénéfices ont pu être appliqués sur la chaîne héritée (c.-à-d. fabrication passée et présente).

La cellule intelligente permettra aussi à terme de conquérir le volume de production requis par un programme moteur. Cette capacité accrue provient à la fois de l'automatisation et de la fabrication sans interruption. À titre d'exemple, l'inspection visuelle automatisée permet de réduire la durée des inspections et de les réaliser avec un nombre restreint d'équipements CMM. AV&R s'est distinguée à ce chapitre.



Schéma d'une cellule intelligente de rotor aubagé monobloc en nickel

TECHNOLOGIE : LES MOTS POUR EXPLIQUER LA TECHNOLOGIE MIM



Le MIM est un procédé de mise en forme qui permet de produire des pièces métalliques à partir de poudre métallique injectée dans un moule.

La 1^{re} étape consiste à combiner la poudre avec un mélange de polymères fondus. Ce mélange nommé « barbotine » peut alors être injecté dans un moule pour lui donner la forme de la pièce voulue (« pièce à Vert »). Par un procédé nommé « déliantage », on retire alors une certaine portion du polymère, de façon chimique ou thermique. La pièce est alors poreuse et fragile (« pièce à Brun »). Finalement, la pièce est consolidée à l'aide d'un traitement thermique à haute température, le « frittage ». Cette étape élimine la porosité et on obtient ainsi une pièce dense.

Les travaux réalisés sur les cellules intelligentes ont impliqué près d'une trentaine de personnels hautement qualifiés (temps plein ou partiel), et ont vu la réalisation de nombreuses collaborations. Les travaux ont notamment bénéficié de l'expertise du CTA pour mettre à l'essai divers types de fluides de refroidissement. Une collaboration tripartite est aussi à souligner pour l'essai d'un robot d'inspection, dont la programmation est réalisée par l'ÉTS et les essais eux-mêmes effectués par le CTA.

En conclusion, les nouvelles technologies manufacturières ont été développées avec succès. Les objectifs individuels des NTM ont globalement été atteints et dans certains cas, dépassés. Le nombre de brevets déposés ou en instance d'être déposés est significatif pour le seul volet NTM, ce qui reflète bien l'envergure des efforts réalisés.

« Ensemble, les nouvelles technologies manufacturières assureront une gestion efficace et éco énergétique de la matière première et des procédés utilisés dans les opérations manufacturières de demain. Cette productivité accrue se doublera d'une qualité de fabrication supérieure à ce que les technologies actuelles permettent. Et c'est ici, dans nos installations de Longueuil et avec l'aide de SA²GE, qu'on a accompli ce pas de géant. » Mario Modafferi, Directeur Recherche & Technologie et PW800 ingénieur design en chef chez Pratt & Whitney Canada

LES BONS COUPS : LA FABRICATION ADDITIVE, C'EST BIEN MEILLEUR À TROIS !

Les travaux de recherche de P&WC sur la fabrication additive ont entraîné la réalisation d'un projet collaboratif entre le CRIQ, APN et P&WC. Disposant d'une toute nouvelle machine d'impression 3D à travers le Réseau Québec-3D, le CRIQ a soutenu la réalisation d'une pièce de P&WC actuellement produite par la PME de Québec, APN. Cette première impression 3D collaborative, menée dans un premier temps sur un alliage d'aluminium, ouvre la voie à de futurs projets de recherche en fabrication additive. La collaboration entre les trois parties fut exemplaire et des résultats significatifs atteints en un temps record. Une étude coût-bénéfice en a découlé et l'arrimage de la technologie avec les étapes subséquentes d'usinage a été exploré.

Le CRIQ est un centre d'expertises intégrées voué à créer, trouver et mettre en place des innovations profitables au développement et à la compétitivité des entreprises du Québec. APN quant à elle, est une PME de la région de Québec spécialisée en usinage de pièces de haute précision et qui se démarque par sa capacité à innover.

Volet MEE : Développement d'un démarreur-générateur électrique pour l'avion plus électrique

Le concept d'avion plus électrique englobe une multitude de technologies. Dans le cadre de SA²GE, P&WC a visé une gestion plus efficace des génératrices électriques alimentant l'avion, afin de

réduire les pertes parasites de puissance. Cette technologie a principalement été développée chez Air Data, au Québec, à partir d'un concept de P&WC. Elle a permis le développement d'un système d'alimentation électrique pour un moteur d'avion composé d'un démarreur-générateur refroidi à l'huile, ainsi que d'un module de commande d'alimentation refroidi par le carburant. Ces composants assurent le démarrage du moteur et produisent la puissance électrique pour le bus de l'avion et l'alimentation triphasée pour le système d'antigivrage des pare-brise.

Le principal but recherché par ce sous-projet était une réduction de poids entraînant une économie de carburant. Au final, le poids du module de commande d'alimentation a été grandement réduit tout comme sa taille qui nécessite donc moins de matières premières en phase de fabrication. Les gains de puissance sont aussi au rendez-vous. Enfin, le module a le potentiel de remplacer d'autres composants sur l'avion comme le système d'antigivrage des pare-brise.

Ce volet a été possible grâce à la collaboration d'Air Data inc. (ADI) qui s'est distinguée par sa capacité d'innovation.

Conclusion

Dans le cadre du programme SA2GE, les objectifs de P&WC ont été atteints en grande partie et souvent dépassés. La majorité des volets de recherche (près d'une vingtaine) ont gravi les échelons TRL de 4 à 6.

En termes de mobilisation, les objectifs sont également atteints. Toutefois, bien au-delà de ces seuils contractuels et quantifiés, le lien établi chez P&WC avec la stratégie d'approvisionnement de l'entreprise est assurément l'un des succès phares de SA²GE. L'identification par P&WC de plusieurs centres d'excellence locaux est indissociable des travaux réalisés sous SA²GE, et décuple l'impact à long terme du projet mobilisateur.

Sur le plan environnemental, les résultats sont au rendez-vous et se concrétiseront lorsque la technologie prendra forme sous un produit mis à l'essai dans sa totalité. Par ailleurs, les prérequis à la norme ISO 14040 ont aussi été complétés en

parallèle, sous la forme d'un projet GARDN; toutes les études requises pour la collecte des données en rapport avec la gestion du cycle de vie ont été complétées en anticipation au lancement éventuel de l'une ou l'autre des plateformes développées dans le cadre du projet mobilisateur.

LES BONS COUPS :

SA2GE a permis la réalisation d'activités de recherche et développement d'une valeur d'au moins quatre fois plus élevé que le remboursement reçu !

APERÇU CHIFFRÉ :

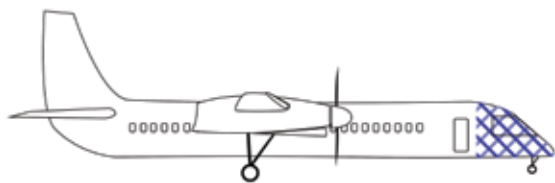
- + de 11 PME participantes
- + de 34 étudiants impliqués
- + de 10 centres de recherche et universités impliqués
- + de 50 dépôts de brevet

SYSTÈMES AVIONIQUES POUR POSTE DE PILOTAGE LEADER : ESTERLINE CMC ÉLECTRONIQUE

Conception d'un démonstrateur technologique de poste de pilotage pour avions d'affaires ou de lignes et pour hélicoptères basés sur des principes d'avionique modulaire intégrée (« IMA »)

« Une intégration réussie de l'innovation ouverte »

Principaux objectifs environnementaux : réduction des émissions de CO₂ et d'oxydes d'azote (NO_x)



Principaux objectifs environnementaux : réduction de la consommation de carburant grâce à la réduction du poids et de la consommation d'énergie et à l'hébergement de fonctions logicielles supportant l'optimisation des plans de vol

« Ce projet était un des plus grands projets de recherche et développement entrepris dans l'histoire de CMC en termes d'investissement et d'introduction de nouvelles technologies. Ce projet a permis à CMC d'intégrer l'innovation ouverte dans ses tactiques de développement de produits. Suite à ce projet, CMC se positionne pour le lancement d'une gamme de produits basée sur les technologies développées dans

le cadre de ce projet. Ceci n'aurait tout simplement pas été envisageable sans le soutien du programme SA2GE. » Patrick Champagne, Vice-président, Produits et solutions d'affichage

EN BREF :

- CMC s'est engagé à développer le prototype d'une plateforme pour sa prochaine génération de postes de pilotage permettant entre autres, la navigation sur des routes optimisées pour réduire la consommation de carburant
- Plutôt que d'adopter un modèle dans lequel CMC fait tout, CMC a privilégié une approche impliquant des partenaires qui co-investissent

COUP DE



SA²GE

CMC est à l'origine d'un nouveau modèle de collaboration misant sur des relations stratégiques à long terme, le partage du risque financier, la synergie des plans de développement de produits et le partage de la propriété intellectuelle.

Un concept novateur de plateforme ouverte basée sur des modules génériques

« Ce projet a notamment permis d'identifier les avantages au niveau aéronef d'une architecture d'avionique de pointe (réduction du poids, maximisation de la puissance...), le tout en réduisant les coûts de cycle de vie pour les exploitants et en minimisant les impacts environnementaux. » Erik Masella,

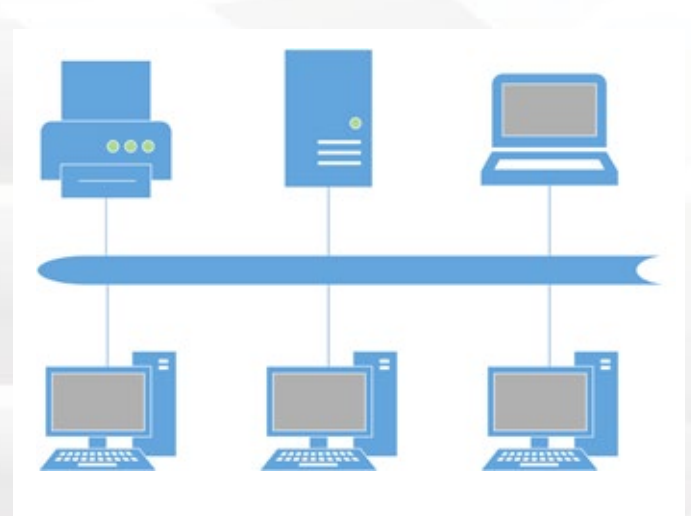
Responsable des programmes avancés chez Esterline CMC Électronique

Traditionnellement, les postes de pilotage sont composés de plusieurs équipements qui réalisent chacun une fonction spécifique. Des interfaces doivent être développées pour pouvoir interconnecter

ces équipements entre eux et ultimement afficher l'information requise pour les pilotes sur les écrans de navigation.

Le projet de CMC avait pour objectif l'élaboration d'une plateforme ouverte basée sur des modules génériques et réutilisables sur laquelle des applications d'avionique peuvent opérer. Aux fins de comparaison, on peut visualiser ce nouveau poste de pilotage comme un réseau informatique dans un bureau, c'est-à-dire une série d'ordinateurs (« PC ») reliés entre eux par un réseau de données. Ces « PC » viennent avec un système d'exploitation (p. ex. « Windows ») et sont prêts à opérer des applications (p. ex. « MS Office »).

Dans le cas de CMC, les « PC » sont des plateformes basées sur divers modules assemblés ensemble : modules de calcul, graphiques, de communication, etc. Ces plateformes sont inter-reliées par un réseau de données propre à l'avionique. Elles ont une couche logicielle qui permet aux applications d'accéder à leurs ressources (p. ex. calcul, librairie graphique, etc.).



Exemple de réseau informatique



Exemple de réseau avec modules

Les diverses fonctions sont développées entièrement en logiciel et sont hébergées sur les plateformes. On les appelle des « applications portables », car elles peuvent opérer sur une plateforme ou une autre. Certaines de ces applications ont été conçues pour optimiser le plan de vol, de manière à réduire la consommation d'essence.

Étant donné que chaque poste de pilotage est différent, une architecture modulaire permet d'assembler des modules génériques de manière à produire une plateforme physique spécifique à un aéronef donné. Ceci permet d'éliminer plusieurs équipements dédiés à une fonction spécifique, donc de réduire le poids total des équipements et, conséquemment, le poids de l'aéronef en vol.

Une plateforme unique répondant aux besoins spécifiques des clients

CMC a développé un ensemble de modules, d'applications, d'outils, de processus ainsi que toute l'infrastructure nécessaire pour être en mesure d'assembler rapidement une plateforme unique répondant aux besoins spécifiques des clients.

Plusieurs fonctions ont été développées en suivant des règles de conception strictes de manière à ce qu'elles puissent opérer sur une plateforme en faisant abstraction complète de la couche matérielle. Une de ces fonctions est le système de gestion de vol entièrement logiciel, qui permet à l'aéronef d'utiliser une route de navigation qui minimise l'utilisation de carburant.

TECHNOLOGIE : AU TERME DU PROJET, UN PROTOTYPE DE COCKPIT IMA

Diverses technologies ont été développées dans le cadre de ce projet, que ce soit dans le domaine du logiciel, de l'électronique, des systèmes avioniques, etc. Une démarche d'intégration incrémentale s'est inscrite au travers du développement. Ceci a culminé avec un laboratoire d'intégration de systèmes dans lequel tous les composants de la nouvelle plateforme avionique ont été intégrés. Conséquemment, CMC considère avoir atteint le TRL niveau 5, c'est-à-dire un prototype opérant dans un environnement représentatif d'utilisation. Comme ce fut le cas pour tous les autres démonstrateurs, les représentants de l'organisme et du ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations ont pu visiter le laboratoire et constater l'avancement technologique.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES ATTEINTS

- Réalisation d'une plateforme ouverte permettant de fournir tous les services, outils, capacité de calcul et de transmission de données requis par les applications effectuant les opérations nécessaires à la navigation;
- Réutilisabilité : CMC est désormais en mesure d'assurer une séparation logique entre la plateforme matérielle et les applications logicielles, permettant une flexibilité et réutilisabilité accrue;
- Réalisation d'un concept de blocs modulaires : CMC a désormais la possibilité d'agencer des blocs et de les inter-relier pour répondre aux besoins présents et futurs.

Outre l'acquisition d'un savoir-faire précieux, notamment en ce qui a trait à la norme DO-297, le projet a permis à CMC de se doter de propriété intellectuelle importante. Certains dépôts de brevets sont envisagés.

La nouvelle plateforme basée sur des concepts d'avionique modulaire intégrée a des impacts positifs sur la réduction du poids des équipements et la réduction du filage entre les équipements. CMC a effectué une étude sur un avion représentatif dans

le but d'estimer les réductions d'émissions. À cet effet, CMC a collaboré avec Bombardier pour faire cet exercice sur le Global 6000. Bombardier a fourni tous les modèles de câblage existants de manière à ce que CMC puisse évaluer différentes architectures possibles selon ses nouvelles technologies.

L'architecture choisie génère les bénéfices suivants :

- Réduction de 38 % du poids du câblage;
- Réduction de 3,8 km de câblage;
- Réduction notable d'émissions de CO₂ et de NO_x.



Assemblage des modules pour un afficheur intelligent

CMC au cœur d'un nouveau modèle de collaboration qui porte ses fruits

LES BONS COUPS : UN MODÈLE GAGNANT-GAGNANT DE « TECHNOLOGIE COMMUNE ET MARCHÉS DISTINCTS »

Un échange d'expertise technique a eu lieu entre CMC et TeraXion sur les technologies de fibre optique : TeraXion, oeuvrant dans le domaine des télécommunications, a fourni du savoir-faire à CMC au niveau des débits plus élevés et des techniques de fabrication à plus bas coût. De son côté, CMC a fait profiter TeraXion de son expertise en fiabilité, herméticité et robustesse des composants, qualités nécessaires pour des environnements rigoureux d'avionique. Le gain de temps de développement associé à ce partenariat se compte en nombre d'années!



Insérer Figure 26. Transcepteur optique

« Étant donné que SA2GE est un programme québécois, ceci nous a motivés à développer des partenaires d'affaires au Québec. Nous avons été surpris par le potentiel des organisations "dans notre propre cour",

vis-à-vis de ce qui est disponible à l'étranger. L'industrie aéronautique est d'envergure internationale; si bien que CMC a l'habitude d'œuvrer avec des organisations partout dans le monde. » Patrick Champagne, Vice-président, Produits et solutions d'affichage

LE SAVIEZ-VOUS ?



La fibre optique est un long fil de verre ou de plastique qui permet de transférer de l'énergie et des données sous forme de lumière. La fibre optique permet plus de débit pour une fraction du poids d'un câble en métal et en plus, elle est plus solide à section égale dans le cas du verre de silice. Non conductrice, elle ne présente donc aucun danger d'étincelles ni d'interférences magnétiques. La fibre optique possède donc de nombreuses qualités recherchées dans l'aéronautique. Réussir à intégrer la fibre optique aux avions de demain pourrait révolutionner le poids de l'avion et donc sa consommation de carburant.

CMC a également collaboré avec Solutions Isonéo, une PME québécoise affiliée à la société française Artal, pour concevoir un outil couvrant les aspects de développement, vérification, simulation et d'intégration de systèmes critiques, le tout basé sur les concepts d'ingénierie par modèles. Une version préliminaire de cet outil, nommé CITRUS, est en cours d'utilisation par les ingénieurs de CMC.

MOBILISATION : L'OUTIL CITRUS DE SOLUTIONS ISONEO

« La problématique des intégrateurs de systèmes complexes est universelle : comment rendre compatible et communiquant des composants ou sous-systèmes qui peuvent utiliser individuellement des logiciels, des langages, des protocoles de communication différents ?

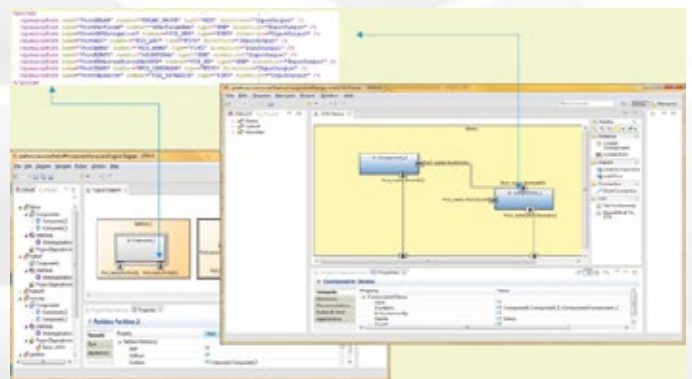
Les contacts avec les systémiers lors de salons professionnels (le dernier en date, le CANSEC à Ottawa du 27 au 28 mai 2015) prouvent que cette situation pose problème à tous les interlocuteurs rencontrés. L'objectif de Citrus, développé en coopération avec CMC Électronique dans le cadre de SA2GE, est de répondre à cette demande. » Joel Chotte, Vice-président développement des affaires chez Solutions Isonéo

Par ailleurs, CMC a sous-traité le développement du pilote du processeur graphique ainsi que la librairie graphique à la compagnie Arcane Technologies, située à Québec. Cette dernière a relevé le défi de manière convaincante et par le fait même, Arcane Technologies a développé une expertise solide dans le domaine des librairies graphiques embarquées.

« Ce projet est une excellente opportunité d'accroître notre expertise de développement logiciel dans des environnements temps-réel via ce premier contact avec l'industrie aérospatiale. Arcane Technologies est une entreprise spécialisée qui œuvre dans plusieurs marchés verticaux. La réussite et le rayonnement du projet en cours pourraient nous ouvrir d'autres marchés fortement réglementés tels que l'automobile, le médical et l'industriel qui pourraient également avoir un fort potentiel. »

Martin Dubé, Président-directeur général d'Arcane Technologies

La mobilisation a parfois pris d'autres visages. Ainsi, des employés de la PME québécoise Systèmes et Logiciels Mannarino ont été intégrés aux équipes de développement sur une période d'au moins une année, certains même depuis le début de projet. Ces personnes ont développé une expertise de pointe sur des sujets précis, tels : calcul de trajectoire, modélisation de systèmes, ARINC-653, services de plateforme.



Aperçu de CITRUS

RETOMBÉES : UN AVENIR PROSPÈRE POUR CMC, GRÂCE À SON NOUVEAU CONCEPT

CMC est fière, à juste titre, de son concept novateur de plateforme ouverte basée sur des modules génériques. À terme, CMC sera en mesure de répondre à une demande grandissante du marché pour des plateformes d'avionique pouvant héberger des applications logicielles développées par le client ou CMC. L'entreprise saura également mettre en place des solutions spécifiques aux installations clients, à partir des blocs modulaires qui pourront être adaptés et déployés à un coût relativement faible. Enfin, CMC sera en mesure d'offrir une capacité de calcul plus élevée tout en réduisant le poids de l'équipement. Un éventail d'avantages irrésistibles qui promettent un bel avenir à CMC!

Atteinte des principaux objectifs de ce projet ambitieux

Les modules génériques ont été développés et intégrés ensemble sur une plateforme ouverte ; les règles de conception permettant de porter des applications sur plusieurs plateformes ont été démontrées. Par contre, de nombreux défis demeurent pour l'évolution technologique (gestion de l'affichage, processeurs multi-cœurs, applications logicielles de pointe...) qui nécessite la poursuite des efforts de CMC et d'investissements.

CMC a réussi à démontrer de belles innovations sur le plan environnemental via la réduction du poids des équipements à bord, du poids du câblage, leur consommation d'énergie et l'hébergement de fonctions logicielles supportant l'optimisation des trajets. Toutefois, la route du développement est encore longue. Des investissements supplémentaires importants seront requis dans des technologies

complémentaires (processeurs multi-cœurs, gestion d'affichage, fonctions logicielles, technologies d'écran...) pour maintenir les avantages concurrentiels obtenus et pour continuer à contribuer à l'efficacité énergétique du transport aérien. Grâce au succès qu'a connu CMC dans ses travaux SA²GE, l'entreprise est déterminée à toucher le but.



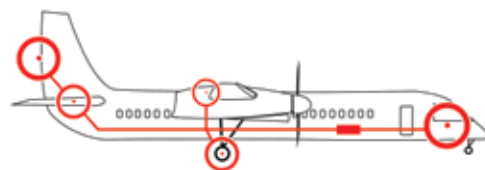
Chefs d'équipe du projet SA²GE chez CMC. De gauche à droite : (assis) Erik Masella, Philip Jones et Alba Mosca (debouts) Mike Rhodes, Hennie Booyens, Gilles Forest, Lucie Stankevicius, Benoît Lamontagne, Richard di Iorio, Benoît Martin et Martin Durand.

APERÇU CHIFFRÉ :

- 4 PME participantes
- 2 partenaires co-investisseurs appelés « collaborateurs »
- 40 étudiants
- 5 universités
- 1 centre de recherche
- + de 50 emplois directs et indirects créés ou maintenus

AVIONIQUE MODULAIRE INTÉGRÉE POUR SYSTÈMES CRITIQUES CO-LEADERS : THALES CANADA ET BOMBARDIER

Sur la majorité des aéronefs en service actuellement, chaque système dispose de ses propres calculateurs. Cela signifie que chaque système est branché à un boîtier différent, ce qui engendre un volume de câblage et de boîtiers très important. On parle alors de « systèmes fédérés ». Depuis l'avènement dans les années 80 de l'électronique embarquée associée à des logiciels, le nombre grandissant de fonctions permettant de simplifier les opérations aériennes a eu pour conséquence une explosion du nombre de calculateurs (boîtiers) dans les aéronefs.



Face aux systèmes fédérés, les systèmes hautement intégrés se profilent comme une solution d'avenir. La centralisation de l'information permet notamment de :

- réduire le volume de câblage et des boîtiers et par conséquent, le poids de l'avion;
- rendre l'avion plus « intelligent » afin d'améliorer sa performance;
- faciliter la maintenance et notamment les inévitables mises à jour.

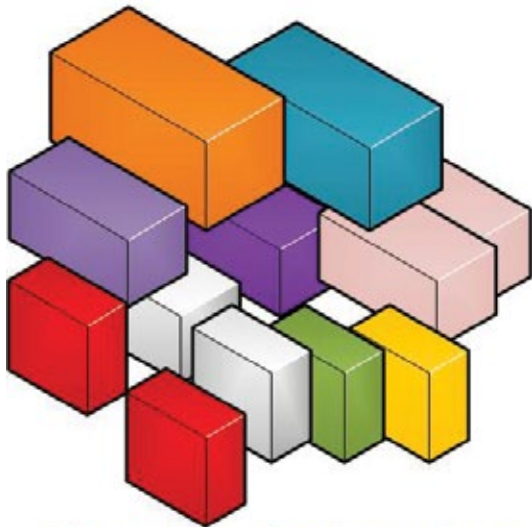
C'est dans ce contexte qu'est né le projet codirigé par Thales Canada et Bombardier aéronautique « Avionique modulaire intégrée pour systèmes critiques ».

LE SAVIEZ-VOUS ?



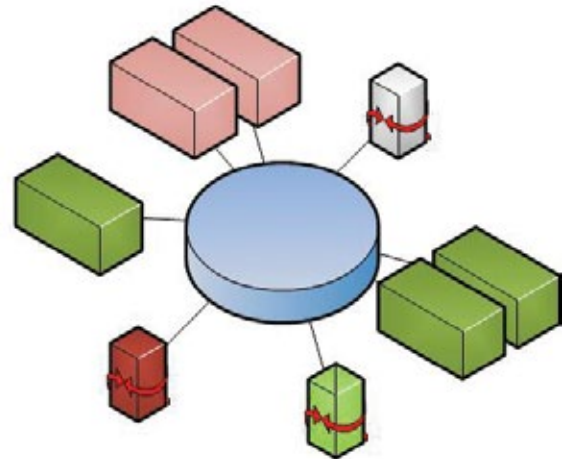
Chaque avion compte un grand nombre de systèmes, tels les moteurs, les commandes de vol, l'air conditionné, le train d'atterrissage, le dégivrage, etc. Ces systèmes sont dits « embarqués », car ils font partie de l'avion. Un système critique est un système essentiel au maintien de l'avion en vol. Par conséquent, il est prioritaire sur d'autres systèmes. Par exemple, le train d'atterrissage est un système critique, car il est indispensable à l'atterrissage de l'avion. En revanche, les écrans vidéo à bord des cabines ne sont pas indispensables à l'avion en vol.

Systèmes Fédérés



*Chaque Fonction/Fournisseur
= 1 ou plusieurs boîtiers*

Systèmes Hautement Intégrés Architecture Modulaire Distribuée



*Chaque Boîtier = Plusieurs
Fonctions/Fournisseur*

« Systèmes fédérés » vs « Systèmes hautement intégrés »

Le projet IMACS propose donc une nouvelle vision pour l'architecture des systèmes embarqués de demain. Cette vision se base sur un ensemble hautement intégré de briques standards, modulaires, distribuées, reconfigurables et évolutives utilisables sur tous les types de porteurs et utilisant un ensemble d'outils standardisés à la fois durant la conception, le développement et l'opération. Ce changement majeur n'est possible qu'en assurant une coordination importante, à la fois sur la façon d'implanter les nouvelles technologies et sur l'ensemble du cycle de développement et des processus.

Pour Thales Canada, ce projet visait le développement d'une nouvelle architecture avionique supportant des fonctions critiques (commandes de vol, train d'atterrissage, direction, freinage, etc.) Alors que pour Bombardier, le projet visait l'intégration d'un grand nombre de systèmes sur une seule et même plateforme de calculateurs supportant des criticités mixtes.

SOUS-PROJET DIRIGÉ PAR THALES CANADA

Développement d'une nouvelle architecture avionique supportant des fonctions critiques comme le train d'atterrissage

« Grâce à SA²GE, une nouvelle ligne de produits naîtra au Québec de la fusion des savoir-faire français et québécois »

À la fin des années 90, Thales France a développé un nouveau concept de calculateur, qui permet d'intégrer plusieurs fonctions avioniques au sein d'un seul calculateur pour des gains de poids et de volume significatifs. Ces travaux de recherche et développement, supportés par des aides financières européennes, ont permis à Thales France d'acquérir un savoir-faire touchant à l'électronique embarquée, les processus et les outils. Ces nouveaux calculateurs sont présentement utilisés par Airbus, ATR et Sukhoi et sont au cœur de la stratégie de développement des cockpits de Thales.

Au Québec, Thales Canada dispose d'une expertise de pointe sur les calculateurs critiques, et tout particulièrement sur les calculateurs de commande de vol électrique, déployés sur les produits Bombardier (Global Express et CRJ), Airbus A320 et les appareils de Gulfstream.

« Grâce à SA²GE, Thales Canada a commencé à bâtir un pont entre les savoir-faire français et québécois. En fusionnant ces deux savoir-faire, Thales Canada développe maintenant une nouvelle ligne de produits unique en son genre : des contrôleurs critiques pour avionique modulaire intégrée. Même si quelques années de développement sont encore requises, la demande des avionneurs est déjà forte ici comme à l'exportation. » Michel Grenier, Vice-président, Directeur général Thales Canada, Avionique

Développement avec succès d'un calculateur capable d'accueillir les fonctions d'un train d'atterrissage : extraction, rétraction et direction

COUP DE

**SA²GE**

Thales Canada a bénéficié de la collaboration d'Héroux Devtek pour parfaire son savoir-faire en matière de système de train d'atterrissage. Ce type de collaboration croisée entre leaders de projets constitue assurément l'un des succès inattendus de SA²GE, et dénote une ouverture d'esprit exceptionnelle ainsi qu'une volonté commune de collaborer pour innover mieux et plus vite.

Thales Canada et ses partenaires ont développé une plateforme ouverte « verte » innovante et les services d'intégration associés qui permettront aux constructeurs d'aéronefs d'être en contrôle de l'architecture et de la configuration de leurs systèmes temps critique et de faire des gains de poids d'environ 64 % sur l'électronique et le câblage des fonctions temps critiques.

En effet, l'avantage principal de cette architecture est de réduire le poids de l'électronique nécessaire pour exécuter ces fonctions par la mutualisation des ressources ainsi que de réduire la quantité de câblage nécessaire pour relier ces fonctions. Cette solution d'architecture a déjà démontré, pour l'avionique, une plus grande flexibilité dans l'adaptation aux différents aéronefs. Par extension, l'IMA critique (Integrated Modular Architecture) s'inscrit dans l'avion plus électrique et plus intelligent de demain. Il constitue un facteur important de développement durable par une gestion à long terme du cycle de vie du produit avion.

Les principaux gains technologiques sont les suivants :

- Conception du système de contrôle permettant d'accueillir plusieurs fonctions de manière indépendante;
- Cœur logiciel permettant d'accueillir les trois fonctions du train d'atterrissage;
- Électronique permettant une plus grande versatilité sur les interfaces analogiques;
- Électronique permettant de réduire la surface occupée par chaque interface;
- Électronique à consommation d'énergie réduite;

- Électronique permettant de nouvelles fonctions de monitoring en continu, de maintenance et de vérification de l'installation dans l'avion;
- Électronique complètement programmable pour s'adapter aux différentes interfaces ou pour évoluer dans le but d'améliorer les algorithmes de traitement.



Le contrôleur critique modulaire

SA²GE, le creuset d'une multitude de synergies entre acteurs québécois

Pour Thales Canada, SA²GE a été le creuset d'une multitude de synergies entre les acteurs aéronautiques du Québec, les PME de la grappe aéronautique et les centres de recherche québécois, notamment :

- Création d'une nouvelle relation d'affaires avec Héroux Devtek;
- Prototypage de nouvelles technologies avec Bombardier Aéronautique;
- Étroite collaboration avec Air Data sur le développement des technologies innovantes en matière d'électronique pour contrôleur critique;
- Partenariat avec l'Université Concordia en matière de recherche en micro-électronique.

Ce projet a aussi été l'opportunité de concrétiser un transfert de savoir-faire de la France vers le Québec en matière de technologie modulaire. Thales Canada a parfaitement intégré ce savoir-faire en le restituant dans la technologie des contrôleurs critiques développée dans le cadre de ce projet.

Outre ce transfert de savoir-faire unique, le sous-projet se distingue par le choix de Thales Canada de ne mobiliser qu'une seule PME, mais de façon

particulièrement intégrée et durable. La collaboration avec Air Data a démarré après une revue diligente de la PME par Thales Canada. La PME québécoise s'est vue confier le mandat de réaliser un prototype permettant de valider les choix technologiques et de combler une partie du fossé séparant l'idée et la réalisation du produit. Cette collaboration a pris la forme d'une fréquentation assidue pendant plus de deux ans et a certainement permis à la PME de progresser à maints égards. Si la collaboration avec Air Data se poursuit et réussit, la PME sera bien positionnée pour obtenir le contrat de production. Encore là, il s'agit d'emplois hautement qualifiés.

« La collaboration avec Thales Canada, dans le cadre du projet SA²GE, a galvanisé l'équipe d'ingénierie d'Air Data. Grâce au transfert des compétences et du savoir-faire de Thales Canada, ce projet mobilisateur et formateur a permis à Air Data de participer à la conception d'un calculateur critique de niveau DAL-A, apportant avec lui beaucoup plus de rigueur dans les processus de développement. Pour notre société, cela représente un saut de géant ! » Jean-Pierre Le-page, Président, Air Data inc.

La collaboration intense avec Air Data a par ailleurs permis à Thales Canada de développer sa chaîne d'approvisionnement en électronique au Québec en impliquant via Air Data, la grappe locale de fabrication micro-électronique.

Enfin, le sous-projet a également permis d'intégrer des participants universitaires aux défis industriels de l'avionique modulaire intégrée pour les systèmes critiques. Le corps professoral et les étudiants ont pu approfondir leur connaissance sur les méthodologies de conception dans le domaine des périphériques.



Équipe intégrée Thales – Air Data

De gauche à droite : Marc-André Talbot (Thales), Carmine Tarcitano (Air Data), Yvon Nazon (Thales), Mark Sdao (Air Data), Vincent Jalbert (Thales), Jean-Pierre Lepage (Air Data), Sondes Benhalima (Thales)

Tous les participants ont acquis de précieuses connaissances sur les contraintes aéronautiques, notamment en matière de précision dans des conditions environnementales de fonctionnement contraignantes avec d'énormes variations de température.



Groupe de recherche Concordia en micro-électronique

De gauche à droite : Jelena Trajkovic, Chris Williams, Glenn Cowan, Paul Leons (assis), Samar Abdi, Luiz Lopes

Une réduction de poids de 64 % pouvant générer jusqu'à 1455 t de CO2 en moins

On estime une réduction du poids au niveau des boîtiers de contrôle et du câblage allant jusqu'à 64 % pouvant générer une réduction des émissions de 1455 tonnes de CO2 associée à une amélioration de la fiabilité permettant de réduire les coûts pour les compagnies aériennes.

Ces estimations sont préliminaires, les bénéfices réalisés ne pourront être confirmés que dans le cadre d'un programme avion. De plus, le nouveau contrôleur critique modulaire pourra accueillir plusieurs fonctions dans un même boîtier. Ce haut niveau d'intégration permettra de réduire significativement le poids total d'un système composé initialement de plusieurs boîtiers et du câblage associé.

Enfin, la réduction du nombre de contrôleurs permettra une réduction de la matière première utilisée en particulier une réduction des quantités de matières premières dangereuses comme le plomb, le nickel, les plastiques et la colle.

Des retombées à la mesure de la révolution IMACS
Le sous-projet dirigé par Thales Canada a supporté le passage du stade de faisabilité (TRL 3) au stade de prototype fonctionnel (TRL 5) d'une nouvelle génération de calculateur critique unique au monde. En effet, aucune solution similaire n'existe à ce jour sur le marché. Si cette technologie révèle les performances attendues en matière d'encombrement, versatilité et coût, elle est promise à un grand avenir sur les marchés aéronautiques.

Évidemment, le développement doit se poursuivre. Grâce à SA²GE, l'équipe de recherche dédiée est dorénavant mise en place et la démonstration du calculateur de train d'atterrissage, réussie. L'entreprise a également préparé son environnement, en développant à la fois sa chaîne d'approvisionnement, ses relations avec les donneurs d'ordres québécois et la relève universitaire. Bref, plusieurs conditions importantes sont maintenant réunies pour permettre à Thales Canada de poursuivre la révolution IMACS.

« À ce jour, beaucoup a été accompli au Québec grâce à SA²GE et les équipes de la direction technique du groupe Thales ont été impressionnées par le chemin parcouru en termes de systèmes et de logiciels. Il reste cependant beaucoup de travail à accomplir en termes de conception électronique, mais les pistes développées grâce au projet SA²GE sont très prometteuses. Si Thales Canada dispose du support pour atteindre ses ambitions, et avec encore 2 à 3 années de travail, le projet IMACS pourrait déboucher sur des ventes et passer en production. Thales Canada pourrait alors espérer doubler son équipe de recherche et développement, par l'ajout d'une quarantaine de personnes hautement qualifiées. »
Marc-André Talbot, Directeur ingénierie, Thales Avionique

APERÇU CHIFFRÉ :

- 33** étudiants
- 10** professeurs et étudiants des cycles supérieurs de l'université Concordia
- 1** PME participante
- 6** emplois créés chez Air Data
- 15** emplois générés chez Thales
- 2** demandes de brevet en cours d'approbation

SOUS-PROJET DIRIGÉ PAR BOMBARDIER AÉRONAUTIQUE

Démonstrateur de conception d'une architecture de systèmes de contrôles de criticités mixtes

« Des avions plus durables et plus économiques grâce à une nouvelle vision de l'architecture des systèmes embarqués »

Cette portion du projet dirigée par Bombardier vise une plus haute intégration des systèmes de contrôle dans le but de permettre :

- davantage de flexibilité quant à la mise à jour des systèmes;
- la robustesse et la rapidité des communications nécessaires pour les avions de prochaines générations;
- une résilience aux changements qui surviennent dans le cadre de développement de nouveaux avions d'affaires et commerciaux;
- une réduction du poids, du volume et du prix des systèmes de contrôle.

En tant qu'intégrateur, Bombardier est responsable de concevoir des structures d'avion capables d'intégrer toutes les technologies nécessaires au bon fonctionnement de l'avion. L'un des défis de Bombardier repose donc dans la capacité à faire communiquer entre elles toutes ces technologies qui proviennent de fournisseurs différents et par conséquent, ont leur propre langage.

Définition avec succès des exigences et architectures des systèmes intégrés et de la plateforme de calculateurs partagés.

Bien que d'une envergure financière limitée par rapport aux autres sous-projets de SA²GE, les activités avioniques de Bombardier ne manquaient pas d'ambition. Ces activités comprenaient entre autres, la définition des exigences et des architectures des systèmes intégrés ainsi que de la plateforme de calculateurs partagés. Ces activités ont été réalisées avec succès et ont inclus la définition des processus de développement nécessaires pour atteindre l'optimisation attendue tout en respectant les exigences strictes de certification.

Faits saillants

L'équipe de projet a d'abord établi les principes fondateurs des architectures envisagées ainsi que le déploiement de la base de développement du démonstrateur IMACS (HIS-IMA). Des étudiants, issus de l'École Polytechnique de Montréal, ont ensuite pu jouer le rôle de fournisseurs virtuels des fonctions intégrées (fournisseur du contrôle du train d'atterrissage, fournisseur du système de gestion du carburant, etc.).

L'acquisition et le déploiement de la plateforme du démonstrateur basée sur une architecture Time-Triggered ARINC664 et ARINC653 ont été complétés assez rapidement au début du projet. La définition des processus liés au développement HIS-IMA a été réalisée en conformité avec les standards SAE ARP-4754/ARP-4761 et RTCA DO-297.

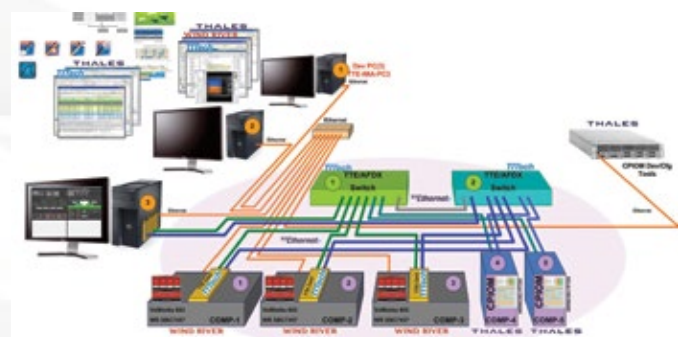
MOBILISATION : À LA BASE DE L'INNOVATION, LE PARTAGE DES CONNAISSANCES

Le projet dirigé par Bombardier a impliqué de nombreux participants et nécessité un effort remarquable de partage des connaissances. Ainsi, l'équipe de développement et d'intégration du démonstrateur HIS-IMA a participé à des sessions de formation offertes par les fournisseurs d'équipement ainsi que par Thales Canada en ce qui a trait aux calculateurs. Les étudiants de l'École Polytechnique de Montréal impliqués dans le projet ont aussi bénéficié de cette formation. Plus tard, Thales Canada, Wind River et TTTech, ont offert une formation pratique intensive sur les modules et outils. D'autres formations ont été diffusées lors des différentes phases de développement du démonstrateur.

Le choix des applications a aussi été confirmé assez tôt dans le projet et consiste en le contrôle du train d'atterrissage et du système de gestion du carburant ainsi que des fonctions de protection du décrochage. L'intégration complète a été réalisée par l'équipe incluant les étudiants et la forte collaboration de Thales ainsi que des ingénieurs de TTTech.

Un volet important du projet touchait à la standardisation. Ce volet visant à transmettre et défendre les intérêts du projet auprès des organismes de standardisation, a été mené via le comité AS-2D mis en place au sein de l'organisation SAE International.

Une approche générique pour le déploiement et développement des outils et modèles d'analyse et de simulation a débuté dans le cadre du projet. Cette approche tient compte des outils existants tels qu'ils ont été proposés lors des sessions de formation offertes par Thales. Les outils d'ingénierie système basés sur la modélisation (« Model Based System Engineering ») ont été étudiés et une évaluation a pu commencer dans le cadre du projet.



Plateforme de Démonstration et son environnement de développement

Des avancées majeures sur les plans technologiques et les processus

Le projet a donc permis à Bombardier de progresser de façon significative sur plusieurs facettes importantes liées au déploiement des architectures hautement intégrées. Une plateforme de démonstration a été réalisée avec succès et a pris la forme d'un banc d'essai d'architecture, à quel la firme TTTech a grandement contribué en complément du support fourni par Thales Canada. Des avancées majeures ont été réalisées sur les plans technologies et processus :

Optimisation des ressources partagées

L'intégration de plusieurs systèmes de contrôle sur une plateforme de calculateurs distribués requiert une gestion efficace des ressources partagées de la plateforme, en conformité avec les exigences de sécurité. Cet objectif requiert une priorisation de l'exécution des fonctions intégrées, ainsi que des messages du moins critique au plus critique. De ce point de vue, le projet a permis d'acquérir un niveau de connaissance essentiel.

Intégration des systèmes de criticités mixtes

L'intégration sur une même plateforme physique de fonctions provenant de systèmes indépendants avec des taux de criticité différents pose de nombreux défis. La définition de l'architecture qui doit être gérée tout au long du cycle de développement et de certification est maintenant maîtrisée.

Ingénierie Basée sur la Modélisation (Model Based Systems Engineering)

Une solution hautement intégrée augmente de façon significative la complexité en termes de développement et de certification. Le projet a permis à Bombardier de poser les bases d'une feuille de route concernant l'approche d'ingénierie basée sur la modélisation.

La relève en avionique, un enjeu important pour les entreprises québécoises

Le projet a été l'occasion de développer de très bonnes relations avec Thales Canada, le co-partenaire du projet, ainsi qu'avec certaines entreprises comme TTTech et avec les universités de la région de Montréal dont l'École Polytechnique de Montréal plus particulièrement.

Grâce à un accord de coopération, Bombardier a doté l'École Polytechnique de Montréal d'une mini plateforme représentative de la technologie utilisée pour le démonstrateur. Avec le support de TTTech et de Thales, les étudiants de l'École ont développé un très bon niveau d'expertise sur la technologie HIS-IMA ainsi que pour la définition et configuration de la plateforme. Bombardier a intégré à son équipe pas moins de trois étudiants à la maîtrise. Dans son ensemble, le projet a donc été l'occasion de préparer la main-d'œuvre requise pour les activités à venir.



Plateforme de Démonstration HIS-IMA

LES BONS COUPS : DES COLLABORATIONS CROISÉES ENTRE PARTENAIRES INDUSTRIELS MÈNENT À DES RÉSULTATS EXCEPTIONNELS

La collaboration Bombardier – Thales Canada fut unique en son genre. En effet, un maître d'œuvre et un intégrateur se sont alliés pour développer une technologie profitable, à terme, à toute l'industrie. Cette ouverture bénéficie bien entendu aux deux compagnies, dans la mesure où elles développent plus rapidement et plus efficacement des produits répondant aux besoins de l'industrie. Alors que Bombardier avait besoin d'acquérir les connaissances de base des architectures modulaires intégrées et des processus de certification incrémentale, Thales Canada a obtenu en retour une compréhension de l'architecture dans laquelle faire rentrer ses systèmes. Il s'agit donc d'une relation gagnante sur toute la ligne et une belle illustration d'innovation ouverte.

« Le projet s'est particulièrement démarqué par la tenue d'ateliers réunissant les acteurs québécois de l'écosystème avionique, y compris de nouveaux acteurs sur la scène québécoise telles Solutions Isonéo et Obeo. En particulier dans le domaine des outils basés sur la modélisation, les ateliers ont

été autant d'opportunités d'échanger sur les expériences et problématiques communes. »

Yann Le Masson, Spécialiste ingénierie senior - Avionique, Bombardier

Les progrès actuels et futurs du projet sont indissociables des discussions au sein du groupe de travail Polarsys de la fondation Eclipse. En effet, dans un esprit coopératif et mobilisateur, les activités de ce groupe de travail axées sur le développement de type ouvert (open source) d'outils pour les systèmes embarqués semblent très prometteuses. Ces forums permettent des échanges à l'intérieur de la grappe aéronautique, mais aussi élargissent le partage à un ensemble d'acteurs concernés par ces outils et le développement de systèmes embarqués aussi bien dans le domaine de l'aéronautique que dans le domaine de l'automobile ou encore celui des télécommunications.

L'atteinte de plusieurs objectifs à caractère environnemental rendu possible grâce au déploiement des architectures hautement intégrées

Le premier objectif évident rendu ainsi réalisable est la réduction du poids et du volume des systèmes de contrôle de l'avion entraînant de fait une réduction de la masse de l'avion. Cette réduction, qui peut s'avérer significative, aura pour conséquence directe non seulement la réduction du carburant nécessaire pour faire voler l'avion, mais également la réduction de la matière première nécessaire pour concevoir et maintenir les systèmes avions.

Un deuxième objectif atteignable grâce à ces architectures est de rendre les systèmes plus flexibles, plus intelligents et plus connectés. Cette grande flexibilité facilitera entre autres la transition vers l'avion plus électrique et aidera à la réduction de la traînée en offrant une plateforme de contrôle pour améliorer la gestion des surfaces de vol sans la nécessité d'augmenter le nombre de boîtiers requis.

Le troisième objectif tout aussi important sera d'offrir une meilleure gestion du cycle de vie de l'avion par une capacité d'adaptation accrue des équipements. L'évolution ou l'ajout de fonctions sera possible sans nécessité de développement de boîtiers dédiés et en favorisant la réutilisation.

Dans le cadre du projet, une analyse a été menée en collaboration avec Thales Canada sur un scénario d'architecture afin de procéder à l'estimation du gain en poids. Le scénario envisagé a pris comme hypothèse l'intégration de la plupart des fonctions de contrôle dans un avion à l'exclusion pour l'instant des commandes de vols. Celles-ci feront en effet l'objet d'une intégration ultérieure en tenant compte de la grande criticité des fonctions. Le scénario choisi suppose par ailleurs que l'ensemble de l'avionique primaire soit déjà intégré et optimisé, ce qui est présentement le cas sur les avions déjà en cours de développement. L'architecture résultante utilisée comme base d'estimation est donc un hybride contenant trois groupes de systèmes. Les gains en poids ont été estimés jusqu'à 75 % pour les boîtiers et à 15 % sur le câblage pour une sélection importante de l'ensemble des systèmes de contrôle de l'avion. Ceci donnerait un gain total d'environ 60 % pour les systèmes concernés, ce qui est significatif.

Évolution significative de la maturité des technologies à l'issue du projet

À l'issue de SA²GE, une évaluation composée de la maturité est présentement de TRL 4. L'évolution de la maturité au cours du projet a été significative et l'expertise acquise dans le projet a permis à Bombardier d'établir une feuille de route pour chacune des facettes prises en compte, outil indispensable pour maîtriser les risques du concept HIS-IMA. Bien entendu, les technologies envisagées comme fondation pour le déploiement des architectures hautement intégrées sont, pour certaines d'entre elles, d'un niveau de maturité avancé. Certaines sont même déjà utilisées sur des

avions certifiés récemment. Le principal défi rencontré par Bombardier au cours de son sous-projet a donc été d'évaluer le niveau global de maturité du concept en tenant compte d'un ensemble exhaustif de facettes :

- le niveau de maturité dans la définition des exigences génériques des systèmes et de la plateforme;
- le niveau de maturité des processus de développement d'intégration et de certification dans un contexte incrémental;
- le niveau de maturité des outils d'ingénierie qui facilitent la gestion de la complexité et qui sont nécessaires à l'atteinte des objectifs d'optimisation des ressources partagées.

Au terme du projet, l'équipe impliquée dans le développement du démonstrateur a acquis un très bon niveau de connaissances techniques concernant la définition et la configuration des ressources partagées de la plateforme. Cette expérience est cruciale pour les activités à venir d'ailleurs, beaucoup reste à faire et l'objectif est de poursuivre les analyses de scénarios d'architectures en appliquant une approche d'ingénierie basée sur la modélisation. À terme, la feuille de route établie sous SA²GE permettra assurément le déploiement de la technologie sur un avion futur et de concrétiser ainsi les avantages majeurs qu'elle présente.

Pour en savoir plus sur ce sous-projet, consulter notre site internet : www.sa2ge.org

TRAIN D'ATERRISSAGE DE L'AVENIR LEADER : HÉROUX-DEVTEK

Conception d'un train d'atterrissage plus vert (matériaux et procédés, réduction de poids), silencieux (acoustique) et intelligent (efficacité et coût)

« Miser sur la Recherche & Technologie pour gagner de la compétitivité »

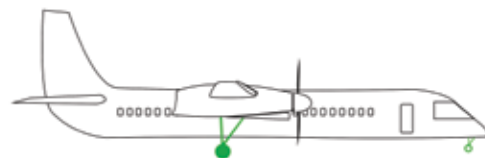
Principaux objectifs environnementaux : suppression de matériaux nocifs pour la santé et l'environnement, réduction du bruit, réduction du poids

COUP DE



SA²GE

SA²GE a eu un réel impact sur la culture d'innovation d'Héroux-Devtek. Pour cette entreprise spécialisée en conception et fabrication de trains d'atterrissage, le projet a d'abord permis la mise sur pied d'une équipe dédiée à la Recherche & Technologie (R&T) associée à un laboratoire d'ingénierie des matériaux et procédés. Par la suite, et grâce à son portfolio de projets bien structuré, Héroux-Devtek a été en mesure de bénéficier de retombées rapides à certains égards, et d'un positionnement stratégique enviable à d'autres égards. La démonstration est faite : la recherche, ça vaut le coût !



SA²GE a permis à Héroux-Devtek d'investir significativement dans le développement de nouvelles technologies plus respectueuses de l'environnement. L'entreprise a concentré ses efforts de recherche autour de trois principaux volets : développer un train d'atterrissage vert, moins lourd et plus intelligent.

Héroux-Devtek a développé une solution alternative au cadmium dans les placages de protection contre la corrosion des aciers à haute résistance. Ce placage, très largement utilisé dans l'industrie aéronautique, est cancérigène et nocif pour l'environnement. En Europe, la législation REACH en restreint l'utilisation, non seulement sur les produits, mais aussi dans toute la chaîne d'approvisionnement y compris parmi les sous-traitants étrangers. Héroux-Devtek a donc décidé d'évaluer des solutions de remplacement et a arrêté son choix sur le placage au Zinc-Nickel alcalin (image) qui a été développé et implémenté.

Héroux-Devtek a aussi travaillé sur un projet visant à réduire le bruit généré par les trains d'atterrissage. Les motoristes ayant significativement réduit le bruit des moteurs, les trains d'atterrissage et le fuselage représentent désormais les principales sources de bruit des avions en approche au-dessus des zones

habitées entourant les aéroports. C'est pourquoi il est important pour Héroux-Devtek d'être en mesure d'évaluer le bruit généré par ses produits afin d'en développer de plus silencieux et demeurer compétitif.

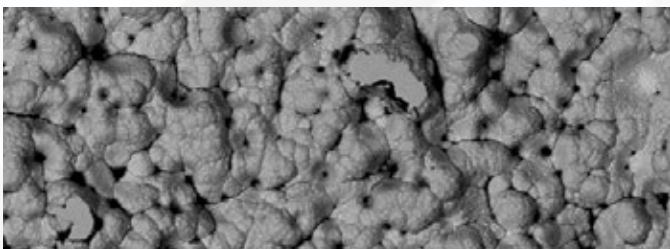
Enfin, un autre des sous-projets développés par Héroux-Devtek concerne l'utilisation de matériaux composite Carbone/Epoxy pour les pièces de train d'atterrissage dans le but de réduire le poids de la structure. Le projet a porté sur une contre-fiche, une structure soumise à un chargement unidirectionnel qui est la pièce de prédilection pour évaluer le potentiel du composite. Ce matériau largement utilisé dans l'aéronautique en est encore à ses débuts pour les trains d'atterrissage. L'environnement des trains d'atterrissage en service est aussi significativement différent de celui des surfaces de contrôle, ailes et fuselages, où le composite est utilisé depuis plus de 30 ans. Le matériau rencontre ainsi de nouvelles contraintes, en particulier de très fortes charges et des géométries complexes. Cela se traduit par des pièces très épaisses, jusqu'à 1.375 pouces telles que celles réalisées dans le cadre du projet.



Prototype de contre-fiche en matériaux composites

EN BREF :

- Le projet de revêtement vert (placage au Zinc-Nickel) permet une baisse de l'impact environnemental du procédé ainsi que des coûts d'exploitation (moins d'entretien).
- L'activité de modélisation aéroacoustique a permis de démontrer une réduction du bruit de 2 dB.
- L'utilisation des matériaux composites entraîne une réduction de 30 % du poids de certaines composantes du train d'atterrissage, ce qui se traduit par une réduction du poids de l'avion et par conséquent de l'émission de gaz à effet de serre (GES).



Vue microscopique du Zinc-Nickel alcalin

Le comportement du composite dans ce contexte est significativement différent de ce qui est utilisé ailleurs. Dans le cadre du projet de développement, Héroux-Devtek a développé des méthodes d'analyse spécifiques pour les pièces de forte épaisseur et a adapté le procédé de fabrication pour prendre en compte les contraintes apportées par ce type de pièces.

VOLET 1 : TRAIN D'ATERRISSAGE VERT ET PLUS SILENCIEUX

Sous volet 1 : Développement du placage au Zinc-Nickel en remplacement du placage au Cadmium

Ce volet a permis à Héroux-Devtek d'acquérir les connaissances nécessaires pour appliquer commercialement le placage au Zinc-Nickel.

Après plusieurs années de développement, l'entreprise est désormais en mesure de proposer à ses clients ce placage en substitution du Cadmium, Titanium-Cadmium et Alum Plate®. Ce nouveau placage présente de nombreux avantages. Tout d'abord, sa toxicité pour l'être humain et l'environnement est pratiquement nulle, ce qui représente un gain significatif par rapport aux autres solutions industrielles. De plus, de nombreux tests ont montré que ce placage est plus efficace pour la protection contre la corrosion; le métal substrat se corrode 30 fois moins vite avec le nouveau procédé qu'avec l'ancien. Cela se traduira nécessairement par une réduction de la maintenance des pièces en service, par une durée de vie augmentée et donc par des produits plus performants. Comme tous les placages électrolytiques, le placage au Zinc-Nickel fragilise l'acier de substrat par dégagement d'hydrogène lors du placage toutefois, la réaction chimique de dépôt du Zinc-Nickel est beaucoup

plus efficace que celle obtenue avec les autres procédés. Ainsi, le substrat est significativement moins affecté et le procédé d'élimination de l'hydrogène peut être réduit, ce qui donne une méthode de placage plus rapide, plus robuste et générant moins de rebus. Enfin, le nouveau placage est dur et résistant à l'abrasion, réduisant significativement les problèmes d'endommagement du placage rencontrés en production et en service. Cependant, ce placage est plus complexe à mettre en place et Héroux-Devtek a dû investir dans des outils de simulation de placage pour réduire avec succès ses coûts de développement et de mise en œuvre du procédé. Toutes ces améliorations font du placage au Zinc-Nickel alcalin un substitut de choix pour les placages au Cadmium, Titanium-Cadmium et AlumiPlate® améliorant à la fois la protection contre la corrosion, sa fonction principale, et sa tenue en service tout en réduisant son impact environnemental.

Dans la pratique, le procédé a été implanté dans l'usine de Longueuil après que le procédé ait été développé et les performances validées. Pour obtenir des pièces « bonnes du premier coup », la simulation du placage et de l'outillage ont dû être développés puis validés sur plusieurs exemples industriels. Les travaux ont été menés par Héroux-Devtek en collaboration avec deux PME québécoises, Régent Précision et Tecnickrome. L'étude a abouti sur une nette amélioration de la tenue en service des aciers à très haute résistance mécanique couramment utilisés. Notamment, le nouveau placage étant plus résistant, son utilisation devrait réduire le nombre de pièces à réparer et remplacer en service. Autres propriétés bénéfiques pour l'environnement : l'élimination complète du cadmium et la réduction de 80 % de l'utilisation du chrome hexavalent tous deux reconnus cancérigène.

Les résultats obtenus dépassent les attentes et ont convaincu Héroux-Devtek d'implanter une ligne de production de Zinc-Nickel alcalin dans son usine de Longueuil, devenant ainsi une des premières entreprises aéronautiques en Amérique du Nord disposant de telles capacités.

Sous volet 2 : Développement d'un outil numérique pour l'évaluation du bruit généré par les trains d'atterrissage

LES BONS COUPS : HÉROUX-DEVTEK A SU METTRE À PROFIT SA PROXIMITÉ AU TRAVERS DE SA²GE AVEC PLUSIEURS MAÎTRES D'ŒUVRE ET GRANDS ÉQUIPEMENTIERS

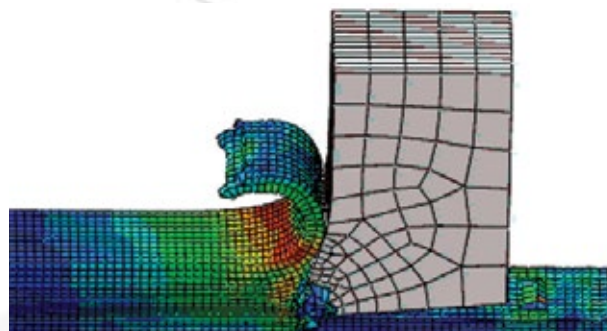
C'est ainsi que des collaborations croisées sont nées au fil de SA²GE. En effet, outre les collaborations avec des PME, universités et centres de recherche, Héroux-Devtek a aussi échangé et travaillé avec Bombardier, sur différents pans de ses projets. Comme on dit en innovation ouverte : « **Seul, on va plus vite; ensemble, on va plus loin** ».

En partenariat avec Bombardier, ce volet a permis à Héroux-Devtek d'acquies une meilleure compréhension des phénomènes aéroacoustiques liés aux composantes des trains d'atterrissage, ainsi que le développement de méthodes de réduction du bruit.

Le projet a été développé en deux étapes complémentaires : d'une part, des tests en soufflerie ont été réalisés sur des maquettes de train d'atterrissage grandeur réelle. D'autre part, ces tests étant complexes à mettre en place et très dispendieux, Héroux-Devtek a réalisé des simulations numériques de l'écoulement de l'air autour de ses produits afin de prédire le bruit généré. L'équipe du Pr L. Mongeau de l'Université McGill a appliqué son expertise en simulation aéroacoustique à une structure complexe comme le train d'atterrissage. L'équipe du CLUMEQ de l'Université McGill a aussi fortement contribué au succès du projet en supportant la mise en place de l'infrastructure de calcul.

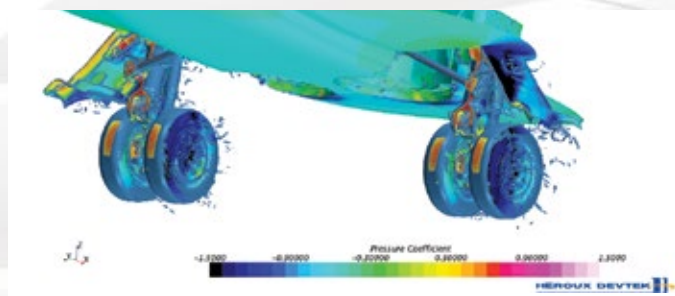
Les évaluations numériques et expérimentales ont permis de déterminer le bruit généré par les différentes

composantes et ainsi proposer des modifications visant à rendre le train d'atterrissage plus silencieux. L'expertise acquise en aéroacoustique pourra désormais être appliquée dans le cadre des prochains programmes de développement.



Modélisation numérique des contraintes générées lors de l'usinage (source U. Laval)

L'étude a abouti à une réduction potentielle du bruit généré par le train d'atterrissage de 2dB (sur les 10 dB exigés par les nouvelles réglementations de l'OACI).



Modélisation aérodynamique du train d'atterrissage principal du LearJet 85

Ces résultats ont incité Héroux-Devtek à poursuivre les efforts à travers un projet d'aéroacoustique GARDN2, dans le but de prendre en compte les requis d'aéroacoustique lors de la conception des trains d'atterrissage et de développer les outils et procédures associés.

LE SAVIEZ-VOUS ?



Les aéronefs doivent respecter les normes de certification relatives à l'environnement adoptées par le Conseil de l'OACI. Ces normes figurent à l'Annexe 16 (Protection de l'environnement) de la Convention relative à l'aviation civile internationale, actuellement composée de deux volumes : le Volume I « Bruit des aéronefs » et le Volume II « Émissions des moteurs d'aviation ». Les normes de certification ont été conçues et sont tenues à jour afin de répondre aux préoccupations des communautés riveraines des aéroports et de la société en général quant à l'incidence de l'aviation sur l'environnement.

VOLET 2 : TRAIN D'ATERRISSAGE PLUS LÉGER

Sous volet 1 : Conception, fabrication et évaluation d'une contre-fiche en composites

Pour réduire le poids du train d'atterrissage, des composantes structurales fortement chargées en composites ont été évaluées en partenariat avec le Centre Technologique en Aérospatiale (CTA), la PME Delastek et l'équipe du Pr P. Hubert de l'Université McGill. Cela a nécessité le développement de méthodes de conception et de fabrication innovantes. Les tests réalisés ont permis de montrer que le comportement sous impact des pièces épaisses en composite est complètement différent de ce qui est habituellement

observé et les exigences habituelles ne s'appliquent plus. De même, le phénomène d'absorption d'eau dépend fortement de l'épaisseur du matériau. Par exemple, le comportement observé montre que, pour une épaisseur de 0.750 pouce, une fois immergée dans de l'eau à température ambiante, les structures mettraient près de 260 ans à être saturées. Même en accélérant le processus avec de l'eau à 70 °C, il ne faudrait pas moins de 75 ans pour atteindre la saturation tel que demandé par la certification. Pour les structures épaisses, cette exigence n'est donc ni représentative de la réalité, ni réaliste pour la certification. Malgré ces contraintes, Héroux-Devtek a été en mesure de fabriquer et tester des sous-composantes, mais aussi des prototypes complets. Les gains obtenus en termes de poids et de résistance mécanique surpassent toutes les prévisions. L'utilisation des matériaux composites pour des pièces structurales de train d'atterrissage s'avère donc très prometteuse.

Les prototypes obtenus affichent une réduction de poids de 30 % par rapport à une pièce similaire en aluminium qui répond au même besoin. Or, un avion plus léger est un avion qui consommera moins de carburant et donc, produira moins de gaz à effet de serre.

« La collaboration la plus complexe et la plus fructueuse a été réalisée pour le développement de pièces composites. Trois intervenants ont été impliqués en collaboration avec Héroux-Devtek, soit une PME manufacturière (Delastek), un centre de transfert technologique (CTA) et une université (McGill). Delastek a apporté ses connaissances en conception de pièces aéronautiques en composite. De son côté, le CTA a partagé son expertise en fabrication de pièces composites et en développement de procédés manufacturiers. Enfin, l'Université McGill a supporté le projet grâce à son savoir-faire en modélisation numérique des procédés de fabrication des pièces composites et en caractérisation des

matériaux. De son côté, Héroux-Devtek a supporté l'ensemble des partenaires tout en développant des méthodes de conception et de dimensionnement des pièces structurales en composite et en prenant en charge la majorité des tests de caractérisation physique et mécanique. Le projet a été mené de manière collaborative et l'avis de chaque intervenant a contribué aux décisions conduisant à un succès. À travers l'expérience du programme SA2GE, Héroux-Devtek a amélioré sa compréhension des contraintes rencontrées par les PME impliquées dans des projets de recherche. L'expertise et le mode de fonctionnement des Centres Collégiaux de Transfert de Technologie (CCTT) se sont révélés être un atout important à la réussite des divers projets. » Arnaud Divialle, Chef d'équipe R&T chez Héroux-Devtek

Sous volet 2 : Optimisation de la conception

Plusieurs matériaux utilisés chez Héroux-Devtek ont été caractérisés en détail pour permettre la modélisation des procédés de fabrication (forgeage, traitement thermique, usinage et grenaillage). La majorité du travail d'optimisation a été réalisée par l'équipe du Pr A. Gakwaya de l'Université Laval. Son équipe a su approfondir les méthodes de simulation numérique des procédés en les étendant aux procédés spécifiques utilisés sur les produits d'Héroux-Devtek.

Au terme du projet, l'outil obtenu permet de prédire les contraintes résiduelles générées par certains procédés avec une erreur inférieure à 10 % et donc de réduire le poids des structures.

VOLET 3 : TRAIN D'ATERRISSAGE PLUS INTELLIGENT

Conception d'un système de mesure de la charge appliquée par l'avion sur le train d'atterrissage

L'objectif de ce volet a consisté à optimiser la charge utile des aéronefs en instrumentant le train d'atterrissage. Un assemblage a été instrumenté en partenariat avec une PME québécoise, Opsens, et testé dans de nombreuses conditions. L'algorithme développé a permis de prédire la charge verticale sur le train avec une précision de 5 %. Or, un meilleur centrage de la charge utile des aéronefs devrait se traduire par un meilleur équilibrage et donc, une réduction de la consommation de carburant. De plus, la connaissance précise du poids de l'aéronef permet d'optimiser son utilisation (par exemple en augmentant la charge utile).

Le travail réalisé grâce à SA²GE a donc permis de démontrer que le concept est très prometteur. L'entreprise a l'intention de poursuivre les travaux en vue de faire évoluer le concept vers une application commerciale.



Train d'atterrissage du LearJet 45 instrumenté pour le projet.

Conclusion

« Le plus beau succès d'Héroux-Devtek dans le cadre du programme SA2GE est le développement du placage au Zinc-Nickel pour remplacer le Cadmium nocif pour la santé humaine et l'environnement. Les travaux réalisés ont permis de prouver que la solution développée est à la fois plus respectueuse de l'environnement et de la santé humaine, mais aussi plus performante pour protéger les trains d'atterrissage de la corrosion, ce qui fait que les avions nécessitent moins d'entretien. De plus, le développement de cette solution technologique a fait intervenir plusieurs PME québécoises (Tecnickrome et Régent Précision) qui en ont profité pour développer leur expertise et ainsi renforcer le tissu industriel québécois. »

Grâce au programme SA2GE, cette solution qui ne fait aucun compromis entre performance et environnement est désormais commercialement disponible au Québec chez Héroux-Devtek ainsi que chez Tecnickrome. » Rémi Langelier, Directeur, Développement des affaires chez Héroux-Devtek

Dans l'ensemble, le programme a permis de développer les technologies évaluées du niveau TRL 2 (« Évaluation des principes ») au niveau TRL 5 (« Démonstration des fonctions critiques »). L'héritage du programme SA2GE est important, car il a initié une démarche structurée de Recherche & Technologie chez Héroux-Devtek qui a permis à l'entreprise de s'affirmer dans l'environnement d'innovation aéronautique québécois. Tout cela n'a été possible qu'avec le support du projet SA2GE et la création d'une équipe de travail dédiée à la R&T associée à un laboratoire de matériaux et procédés. Ainsi ce sont quatre (4) étudiants, deux (2) stagiaires et sept (7) personnels hautement qualifiés qui ont pu être formés chez Héroux-Devtek sur les différentes activités liées au projet SA2GE, sans compter les emplois maintenus chez les participants au projet.

APERÇU CHIFFRÉ :

- 4 PME participantes
- 6 étudiants
- 4 postes permanents créés à travers la mise en place d'une équipe de Recherche & Technologie
- 13 personnes formées sur des technologies de pointe

LA RÉDUCTION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'AVIATION AU TRAVERS L'UTILISATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES FAIT PARTIE DES OBJECTIFS FONDAMENTAUX DE SA²GE

Concrètement, cela se traduit par des objectifs à visée environnementale, définis préalablement au commencement de SA²GE, et dont la faisabilité était à démontrer d'ici l'achèvement du projet. Exemple d'objectifs à démontrer : réduction des gaz à effet de serre provenant d'une réduction de poids, intégration de l'écoconception dans les travaux de recherche et développement (norme ISO 14040).

INFORMATION

Norme ISO 14040

« Management environnemental

– Analyse du cycle de vie – Principes et cadre »

Cette norme de qualité décrit la méthodologie et la déontologie à suivre dans le cas d'une analyse de cycle de vie (LCA). En d'autres termes, il s'agit d'un document qui relate les caractéristiques essentielles d'une analyse de cycle de vie. L'associer à un projet de recherche et développement indique au lecteur que les travaux ont été réalisés conformément aux bonnes pratiques associées à cette norme.

Un objectif rassembleur

Tous les partenaires industriels de SA²GE ont contribué à la mise sur pied d'un comité visant le partage et l'élaboration de méthodes et outils d'analyse adaptés aux technologies de démonstration. SA²GE a également bénéficié de la participation de M. Gilles Bourgeois, Chef, Protection environnementale et normes chez Transports Canada et membre du Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) de l'OACI. M. Bourgeois agissait également à titre d'observateur sur le conseil d'administration du Regroupement pour le développement de l'avion plus écologique.

Des gains environnementaux à tous les stades de vie

Sous le leadership de Mme Kahina Oudjehani, Chef de l'écoconception chez Bombardier, le comité a mis au point des indicateurs de performance afin de quantifier les gains environnementaux des pièces et systèmes développés dans SA²GE.

Les gains environnementaux engendrés par l'utilisation de la pièce ou du système au cours de sa vie utile ont été considérés, mais aussi les bénéfices obtenus au cours de sa fabrication. En effet, une certaine part de l'amélioration de l'empreinte environnementale de l'aviation passe par la réduction des matières premières nécessaires à la fabrication, ainsi que la réduction des déchets.

Mise en place d'une méthodologie adaptée

Bombardier qui possède un département dédié à l'écoconception, a établi une méthodologie et proposé des indicateurs de performance. Éléments de mesure retenus :

- Émissions de dioxyde de carbone
- Matériaux dangereux
- Ratio « buy-to-fly »
- Bruit
- Émissions d'oxyde d'azote
- Eau
- Déchets solides
- Énergie

Chaque entreprise a ensuite identifié les indicateurs appropriés à la nature de son projet, procédé à l'analyse et fourni ses mesures à Bombardier qui a compilé les résultats.

Des résultats dont on peut être fier !

Étape 1 : La quantification des résultats

Pour commencer, chaque entreprise a donc quantifié l'atteinte des gains environnementaux de son sous-projet en fonction des éléments de mesure pertinents. Le défi était grand, car de nombreuses extrapolations sont nécessaires pour estimer les gains qu'une technologie engendrera, une fois intégrée à un produit. Les hypothèses utilisées ont été débattues par les membres du comité et soigneusement choisies pour leur aspect conservateur. Les gains environnementaux qui sont ressortis de l'étude sont donc réalistes, étayés par des hypothèses détaillées et ne surestiment en aucun cas les gains potentiels.

Les hauts faits :

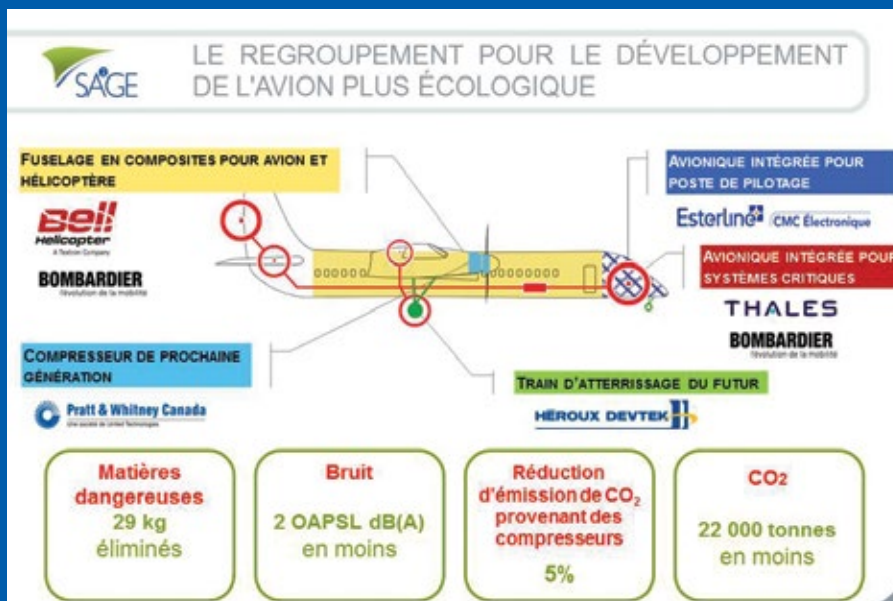
- Réduction du poids des pièces d'hélicoptère développées en composites de 5 % par rapport aux pièces comparables actuellement en marché. Une réduction de poids entre 10 et 15 % est même envisagée après optimisation.
- Baisse majeure du ratio « buy-to-fly » pour les pièces d'hélicoptère développées en composites, passant de 170 % à 105 %. Cela signifie que

pour produire 100 kg de pièces en se servant des technologies développées par le sous-projet, Bell Helicopter aurait besoin d'acheter environ 105 kg de matières premières plutôt que les 170 kg nécessaires avec les méthodes de fabrication présentement utilisées pour la production.

- Réduction de poids des structures d'avion de 8 % anticipée par Bombardier suite aux activités d'analyse et de procédé de fabrication. Cela signifie une réduction des émissions de CO₂ de l'ordre de 4800 tonnes sur la durée de vie de l'avion, soit l'équivalent de 1350 voitures moyennes sur un an.
- Consommation sous la barre des 3 L/100 km/Pax dans l'éventualité d'une mise en service d'un moteur incorporant les technologies du NGRT; ce qui signifie que les aviateurs pourront bénéficier d'une consommation très faible par passager.
- Réduction de 38 % du poids du câblage soit 3,8 km de câblage résultant d'un exercice d'extrapolation qui reposait sur l'intégration de l'architecture avionique développée dans SA²GE à un poste de pilotage de Global 6000.
- Gains de poids d'environ 64 % sur l'électronique et le câblage des fonctions temps critiques pouvant générer une réduction des émissions de CO₂ de 1455 tonnes associée à une amélioration de la fiabilité permettant de réduire les coûts pour les compagnies aériennes.
- Gains de poids jusqu'à 75 % pour les boîtiers et jusqu'à 15 % sur le câblage pour une sélection importante de l'ensemble des systèmes de contrôle de l'avion. Gain total estimé à 60 % pour les systèmes concernés.
- Réduction de 2 dB du bruit causé par le train d'atterrissage, démontrée par l'activité de modélisation aéroacoustique. Il s'agit d'un pas important vers l'objectif des 10 dB exigés par les nouvelles réglementations de l'OACI.

DES RÉSULTATS QUI PARLENT D'EUX-MÊMES...

Si les technologies développées dans SA²GE phase 1 étaient toutes intégrées à un même avion, on économiserait 22000 tonnes de CO₂ sur la vie de l'avion, ce qui correspond à l'équivalent de 6 000 voitures en moins sur nos routes pendant un an ou 24 000 arbres supplémentaires.



- Réduction de 30 % du poids de certaines composantes du train d'atterrissage par rapport à une pièce similaire en aluminium.
- Remplacement des placages au Cadmium, Titane-Cadmium et AlumiPlate® par le Zinc-Nickel, un alliage beaucoup moins nocif pour la santé et l'environnement.
- Meilleur centrage de la charge utile des aéronefs d'après un algorithme développé avec une précision de 5 %. Un meilleur équilibrage entraîne une réduction de la consommation de carburant. De plus, la connaissance précise du poids de l'aéronef permet d'optimiser son utilisation (par exemple en augmentant la charge utile).

Étape 2 : Une intégration réussie

Par la suite, chaque entreprise a transmis ses résultats d'analyse à la direction du Comité gains environnementaux. L'équipe d'écoconception de Bombardier a alors procédé à l'intégration des gains environnementaux sur une plateforme fictive. Là aussi, le défi était grand étant donné que les technologies développées dans SA²GE s'appliqueront à des aéronefs très différents : hélicoptères, avions d'affaires, avions turbopropulsés, avions militaires, etc. Aux fins de l'exercice, un avion fictif turbo-propulsé a été choisi comme plateforme d'intégration,

et l'intégration a eu pour objectif de quantifier essentiellement la réduction d'émission de CO₂. Celle-ci est notamment attribuable à la réduction du poids de l'appareil, à ses performances aérodynamiques et à l'amélioration des performances du moteur. De toute évidence, un avion plus léger est un avion qui consomme moins de carburant et par conséquent, qui pollue moins.

Avec SA²GE, nos grandes entreprises québécoises ont donc établi ensemble une base d'analyse des gains environnementaux. En accord avec les préceptes de l'écoconception, elles ont partagé leurs meilleures pratiques et se sont aidées mutuellement. L'équipe de Bombardier s'est distinguée par sa contribution remarquable à cet effort. Les membres du comité peuvent donc être fiers du chemin parcouru depuis 2010. Toutefois, comme on lira à la section suivante, beaucoup reste à faire, et on est confiant d'aller encore plus loin avec une phase 2.

BILAN DES TRAVAUX – ANALYSE TRANSVERSALE ET LEÇONS TIRÉES

Lorsque l'on considère les objectifs technologiques déterminés en 2010, et comme les sections précédentes de ce bilan l'ont montré, chaque sous-projet a généralement atteint ou dépassé ses objectifs. Les activités réalisées pour atteindre ces objectifs ont souvent dévié des plans initiaux, ce qui reflète bien la nature risquée des travaux de recherche et développement. Lorsque la situation s'est produite, le plan des activités a été modifié sans toutefois altérer significativement le budget du sous-projet. Sur le plan purement contractuel, on peut donc considérer que SA²GE est un succès. Cependant, les véritables succès de SA²GE vont bien au-delà de l'atteinte des objectifs :

SA²GE, source d'innovations de rupture

Quel que soit le secteur industriel, réussir une innovation de rupture est un exploit. En effet, il est généralement reconnu comme étant de plus en plus difficile de réinventer complètement un modèle, d'autant plus lorsqu'on œuvre dans un environnement hautement réglementé comme l'aéronautique.

Plusieurs partenaires industriels de SA²GE ont pourtant réussi la prouesse. Pour y arriver, ils ont mis de côté les approches incrémentales d'innovation « par petits pas », et ont considéré d'un œil neuf l'objectif technologique à atteindre.

Les technologies qui en ressortent ne découlent donc pas du passé, mais établissent plutôt une nouvelle ère technologique, de laquelle émaneront nécessairement de nouvelles stratégies d'affaires. Même dans les cas des entreprises où des innovations de rupture n'ont pas été établies, les innovations technologiques sont telles, qu'elles entraînent de nouvelles stratégies d'affaires.

L'impact structurant de l'innovation technologique réalisée sous SA²GE est donc majeur.

Combiner les défis environnementaux à l'innovation technologique : une clé du succès

Les bilans individuels des sous-projets ont mis de l'avant que les objectifs environnementaux agissaient comme catalyseurs d'innovation et de collaboration. Parce que les contraintes qu'elles imposent sont nouvelles, les préoccupations environnementales forcent un regard neuf sur les méthodes et procédés, et remettent en cause les technologies dès leur conception. Le partage des meilleures pratiques est l'un des fondements de l'éco-conception, et le terrain neutre que constitue l'environnement est fertile aux collaborations.

Outre les réalisations dont on peut être fier, beaucoup reste à faire en termes d'écoconception. Le projet SA²GE a certes permis d'établir des fondements solides dans ce domaine chez chacun des partenaires industriels, mais l'intégration des spécialistes environnementaux aux équipes de projet demeure souvent partielle et ponctuelle. Les avantages d'une telle intégration ont heureusement été démontrés, et un changement culturel est initié.

Du côté des PME et des centres de recherche toutefois, tout reste généralement à faire. On peut rêver qu'une phase 2 de SA²GE soit l'occasion de partager les meilleures pratiques au sein des équipes collaboratives élargies, et ainsi récolter encore davantage de bénéfices de l'écoconception.

Un programme qui répond aux besoins

À l'unanimité, les partenaires industriels ont souligné la façon dont SA²GE avait répondu adéquatement à des besoins jusqu'alors non comblés en termes de soutien à l'innovation. La naissance du programme, en 2010, a d'ailleurs été justifiée en partie par le fait que les entreprises québécoises ne disposaient d'aucune aide, contrairement aux concurrentes étrangères, pour franchir le cap du démonstrateur technologique. Le soutien aux étapes antérieures (TRL 1 à 4) est assuré notamment par le CRIAQ, lequel a instauré une véritable révolution dans la recherche et le développement. On se souviendra que ce modèle collaboratif a inspiré la création de nombreux consortiums ailleurs au Québec et dans le monde.

SA²GE, un engrenage essentiel

De nombreux travaux réalisés dans SA²GE découlent directement de projets CRIAQ ou d'autres projets de plus bas TRL réalisés essentiellement en université. On a aussi vu dans ce bilan qu'à l'issue de SA²GE, certains travaux ont soulevé des questionnements qui, à leur tour, prendront la forme de nouveaux projets CRIAQ ou autres projets de plus bas TRL.

Outre le CRIAQ, bien d'autres programmes provinciaux et fédéraux soutiennent les efforts de recherche et développement de l'industrie aéronautique. Pour que les efforts de chaque programme engendrent des retombées, il faut un enchaînement dans les actions, un flux de connaissances et d'expertises. Certains partenaires industriels se sont distingués à cet égard par leur capacité à établir des liens et catalyser les initiatives.



INFORMATION

les niveaux de maturité technologique, plus connus sous l'acronyme "TRL" »

L'échelle TRL (Technology Readiness Level) est un système de mesure employé par des agences gouvernementales américaines et de nombreuses compagnies mondiales afin d'évaluer le niveau de maturité d'une technologie avant d'intégrer cette technologie dans un système ou sous-système. En général, quand une nouvelle technologie est inventée, elle n'est pas immédiatement applicable. Les nouvelles technologies sont généralement soumises à l'expérimentation, au raffinement, et à des tests de plus en plus réalistes avant de pouvoir devenir des composants génériques d'un système hautement intégré, performant et flexible.

Les bilans des sous-projets ont mis en évidence que l'évolution technologique emprunte bien des chemins, mais nécessite absolument un soutien au stade démonstrateur pour engranger les bénéfices des investissements antérieurs. Le projet SAGE est un ingrédient nécessaire pour traduire l'investissement en R-D en gains de productivité.

Les clés du succès de SA²GE

Le projet SA²GE vise des travaux de TRL 4 à 6 dont la majeure partie est réalisée en entreprise. Le programme possède des éléments distinctifs dont plusieurs contribuent à son succès.

Le premier élément distinctif est la flexibilité allouée aux moyens et aux plans d'activités. La convention de subvention établit des balises, bien sûr; mais l'accent est mis sur l'esprit devant guider les partenaires dans la réalisation des travaux : la convention établit que les dépenses admissibles sont majoritairement celles reliées au travail des « cerveaux » québécois, dans la mesure où ce travail vise à atteindre les objectifs fixés pour chaque sous-projet et où certains seuils de mobilisation sont respectés. Cette approche respecte aussi la diversité des technologies couvertes par SA²GE, ainsi que la diversité des approches et des réseaux d'expertise en place.

SA²GE se distingue également par sa reddition de comptes à la fois rigoureuse et efficace, sans être lourde pour autant. Cet aspect a été souligné par tous les partenaires industriels. Chacune des parties a contribué au succès de la mécanique, qui a d'ailleurs été raffinée au fil du projet. En effet, après la première année de travaux et de rapports, chacun a pu exprimer ses besoins et ses contraintes, et les gabarits de rapports s'en sont trouvés améliorés et clarifiés.

La pression des pairs a certainement constitué un élément important du succès de la reddition de compte. Les partenaires industriels étant liés conjointement à plusieurs niveaux, chacun s'est empressé de rencontrer les exigences en temps et en qualité. Un climat de succès s'est instauré rapidement en cours de projet, et les administrateurs ont été attentifs à surveiller qu'aucun échec ne puisse ternir le succès global.

Mobilisation – la mystérieuse chimie des collaborations réussies

Comme l'indique son appellation de projet mobilisateur, la mobilisation est au cœur de SA²GE. Elle vise autant les PME que les universités et centres de recherche. Une véritable mobilisation a lieu lorsque l'impact est stratégique et d'envergure pour l'entreprise mobilisée. Dans un contexte de R-D, il est souvent difficile de prévoir l'issue des travaux et des retombées en découlant. Il est aujourd'hui trop tôt pour départir les véritables mobilisations des autres collaborations. Mais déjà, certaines PME se dessinent comme de grandes gagnantes. D'autre part, la mobilisation a aussi pris la forme d'un nombre élevé de collaborations non comptabilisées : centres de formation, entreprises de taille supérieure à 249 employés, potentiel d'impact non quantifiable, démarrage trop tardif des activités, etc.

COUP DE



SA²GE

Les industries manufacturières font face à une concurrence féroce de la part des pays où les coûts de main-d'œuvre sont plus bas. Notre industrie aéronautique québécoise n'y échappe pas et mise sur l'innovation pour conserver les emplois au Québec et même, récupérer des emplois délocalisés. Pratt & Whitney Canada a fait preuve de vision à cet égard en développant de nouvelles technologies manufacturières contribuant directement à augmenter la productivité. La mise en œuvre de cette vision se base sur un réseau de PME québécoises fiables et innovantes avec une forte capacité de production. P&WC ne fait donc pas qu'assurer sa propre compétitivité, elle contribue à renforcer toute la chaîne d'approvisionnement québécoise en participant au maintien des emplois hautement qualifiés au Québec.

Plus que tout, c'est la qualité des mobilisations qui ressort de SA²GE. Appuyée par Aéro Montréal, celle-ci a requis un effort des principaux partenaires et du temps pour repérer et mettre en œuvre des collaborations à valeur ajoutée. L'équipe de travail tripartite s'est révélée une des combinaisons les plus performantes (1 grand partenaire industriel + 1 PME + 1 université ou centre de recherche), où le travail se fait en « terrain neutre » (université ou centre de recherche) et où tous contribuent au travail de façon équilibrée (plutôt que de confier l'exécution exclusivement à l'une ou l'autre des parties). Cette combinaison gagnante a émergé de façon forte en deuxième partie du parcours, ce qui explique en partie les taux initialement assez faibles de mobilisation des universités et centres de recherche.

Une autre raison expliquant ces faibles taux initiaux, tient au maillage plus tardif dans certains domaines, comme l'avionique. En conclusion, même si les projets de TRL élevés (4 à 6) exigent une plus grande implication des industriels par rapport à celle des chercheurs universitaires, la participation des universités et centres de recherche a démontré sa pertinence et ses bénéfices dans un projet mobilisateur.

Retombées de SA²GE

Il est bien connu que les cycles de développement sont longs en aéronautique. Dans bien des cas, les technologies développées dans SA²GE ne se traduiront en chiffres d'affaires que dans 5 à 10 ans. Certains éléments isolés, on l'a vu, ont exceptionnellement déjà été incorporés à la production. Mais il y a un piège à vouloir mesurer trop vite les retombées du projet mobilisateur, car le bénéfice pour le Québec ne se situe pas dans les emplois créés ou conservés grâce au projet. L'impact est stratégique pour nos entreprises et se mesurera dans 5 à 10 ans par le lancement de nouveaux produits, par l'établissement au Québec de créneaux d'excellence mondiaux et par le succès commercial de nos entreprises. Des emplois hautement qualifiés ont déjà été créés par SA²GE, mais la majorité des emplois verront le jour dans quelques années.

Chacun des sous-projets a permis d'aborder de nouvelles technologies et de nouvelles façons de faire qui trouvent des applications dès maintenant et qui permettent aux entreprises de soumissionner sur des projets auxquels elles n'auraient pu avoir accès auparavant. Comme le dit l'adage : dans un voyage, le chemin compte autant que la destination. Malgré la difficulté évidente d'isoler l'effet de SA²GE à ce moment, des mécanismes sont en place au ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations pour recueillir des données sur ces retombées.

Renforcer le positionnement mondial de nos entreprises

La structure de notre industrie est complexe et traverse une période de mutation. Le moment est donc propice aux projets d'envergure, ayant une portée stratégique. Pour les entreprises québécoises qui ont des sites ou des compagnies affiliées ailleurs dans le monde, développer du savoir-faire et de la propriété intellectuelle (PI) est un enjeu de taille. Cela permet un positionnement avantageux lors des prises de décisions futures, qu'il s'agisse de la mise en production d'un nouveau produit ou la création d'un futur centre d'expertise.

Grâce à SA²GE, une PI importante a été développée et renforcera le pouvoir de nos entreprises. L'impact stratégique de SA²GE est particulièrement marqué chez les équipementiers et intégrateurs de systèmes, où les modèles d'affaires évoluent rapidement.

Innover encore et toujours

Au vu du succès important de SA²GE, on se réjouit de l'annonce récente d'une phase 2. Le programme SA²GE a initié de grands changements, et il faut poursuivre sur cette lancée en préservant les clés du succès de la phase 1. Il faut aussi porter plus loin les pistes prometteuses qui en ont émergé, telles les collaborations avec d'autres secteurs industriels, les collaborations tripartites (partenaire industriel + PME + université ou centre de recherche) et le partage étendu des meilleures pratiques en éco-conception.

SA²GE a montré qu'on peut tirer profit des éléments distinctifs du Québec : le dynamisme de la grappe aérospatiale, la proximité géographique des gens, la disponibilité de ressources hautement qualifiées, la performance des entreprises nécessaires à la conception et à la fabrication d'un avion. SA²GE est un outil stratégique qui permet à une société de petite taille comme le Québec de maintenir une position stratégique en aérospatiale : avec l'annonce de la phase 2, le gouvernement du Québec en fait un important jalon de sa future stratégie pour le secteur aérospatial.

RECOMMANDATIONS EN BREF

Parce que le projet SA²GE est une réussite, il faut s'assurer de préserver les clés de ce succès : flexibilité, rigueur et légèreté, engagement conjoint des partenaires, climat propice aux collaborations.

- Plus spécifiquement, et étant donné la nature des projets R-D en aéronautique, il est primordial de conserver la flexibilité du programme afin de pouvoir s'adapter à la diversité des technologies, des modèles d'innovation et de collaboration, ainsi qu'au parcours évolutif des travaux de R-D;
- Comme l'a montré la phase 1, l'écoconception est un formidable catalyseur d'innovation et de collaboration. Il faut donc profiter de la seconde phase de SA²GE pour approfondir l'écoconception et étendre le partage des meilleures pratiques à davantage d'organisations, y compris nos PME québécoises;
- SA²GE s'est inscrit très naturellement dans la chaîne d'innovation québécoise, et a comblé un maillon important. SA²GE permet que l'investissement public et privé en R-D soit plus efficace et entraîne des retombées plus importantes. Dans le but de maximiser cet impact, il faut étudier et appuyer les mécanismes soutenant l'enchaînement dans les actions ainsi que les flux de connaissances et d'expertises;
- Afin de voir naître davantage de véritables mobilisations, il faut encourager et reconnaître les tentatives de maillage et donc, élargir la notion de mobilisation;
- Afin de demeurer compétitif, il est vital pour l'industrie aéronautique québécoise que le gouvernement continue à soutenir l'innovation au stade de la démonstration; assurer la pérennité du programme serait un atout majeur et permettrait de bâtir sur les acquis des phases précédentes.



673, Saint-Germain, Saint-Laurent (QC) H4L 3R6
T (514) 418.0123 • F (514) 418.0122 • info@sa2ge.org

www.sa2ge.org