

DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE

La conception des avions nouvelle génération

Une nouvelle approche de l'ingénierie aéronautique

Résumé

L'industrie aéronautique devra évoluer pour se conformer aux réglementations internationales et éviter une augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) due à la croissance prévue du nombre de passagers. Cependant, la densité de puissance requise engendre des préoccupations thermiques, des défis d'intégration des systèmes électriques et intensifie l'interaction entre les différents aspects physiques de l'appareil. Pour faire face à ces complexités, les constructeurs devront moderniser leurs processus de développement, trop souvent cloisonnés, en adoptant à une approche d'ingénierie dynamique basée sur les modèles. Le portefeuille de solutions Simcenter™ leur offre un ensemble complet d'outils évolutifs et collaboratifs pour une ingénierie de la performance dynamique basée sur des modèles. Simcenter couvre différents aspects : de la conception à la certification, le tout sur une seule plateforme. Il fournit une vérification et une validation cohérentes et précises du comportement tout au long du cycle de conception.

Sommaire

Résumé	3
L'aviation dans la société actuelle	3
L'aviation : une pierre angulaire de la mondialisation	3
Préoccupations environnementales	3
Consommation de carburant et coût opérationnel	5
Exploitation dans les aéroports	5
Sécurité en vol	5
Électrification des futurs avions	6
Les défis de l'ingénierie technologique	6
<i>Intégration des systèmes électriques haute puissance</i>	6
<i>Densité de puissance</i>	7
<i>Gestion thermique</i>	7
Les défis liés au processus de développement	7
<i>Les organisations cloisonnées créent des angles morts dans l'ingénierie de la performance</i>	7
<i>Gestion thermique</i>	8
<i>Intégration du système électrique</i>	9
<i>Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité basées sur des modèles</i>	9
Une nouvelle approche de l'ingénierie aéronautique	11
Suppression des cloisonnements à l'aide d'une ingénierie des systèmes basée sur des modèles	12
Exploitation de modèles d'aviation prêts à l'emploi	13
Mise à l'échelle des modèles en fonction des besoins d'ingénierie	13
<i>Des modèles grossiers au développement détaillé</i>	13
<i>Des composants à l'avion intégré</i>	14
<i>De l'élaboration du concept à la phase de vérification</i>	14
Satisfaire une vaste gamme de secteurs et d'applications	15
Tirer le meilleur parti des modèles de simulation	15
Création de synergies entre la simulation et les tests	15
Conclusion	17
Références	17

I Résumé

L'impact des combustibles fossiles sur l'environnement est à l'ordre du jour de toutes les industries du transport, ce qui fait de l'électrification l'un des principaux domaines d'intérêt. La conception d'avions électriques nécessitera des technologies innovantes et de nouveaux processus de développement. Ce livre blanc passe en revue les défis spécifiques du secteur et explique comment une approche d'ingénierie basée sur des modèles peut aider les constructeurs d'avions et leurs fournisseurs à déployer un jumeau numérique

complet pour l'ingénierie de la performance. Cette méthodologie facilite la vérification et la validation du comportement à l'aide d'une simulation réaliste pour s'attaquer plus efficacement aux complexités de conception, en supprimant les cloisonnements entre les disciplines et les applications, ce qui se traduit par un temps de développement plus court et un risque réduit. La continuité numérique mise en place au sein du processus aide à atteindre l'excellence dans l'exécution des programmes.

I L'aviation dans la société actuelle

L'aviation : une pierre angulaire de la mondialisation

Il est toujours difficile de prédire les changements qu'on retiendra d'une époque. La mondialisation a été l'une des tendances majeures de ces 50 dernières années. Les personnes, les sociétés et les entreprises du monde entier sont plus connectées que jamais, grâce aux progrès réalisés dans de nombreux domaines. Un grand nombre de pays ont gagné en stabilité, tant sur le plan intérieur que dans leurs relations extérieures, ce qui a contribué à améliorer considérablement l'éducation et le bien-être de la population. Nous avons assisté à des innovations révolutionnaires dans les technologies de la communication. Beaucoup d'entre elles ont leurs racines ou sont liées à des réalisations dans les industries aéronautique et spatiale.

Mais l'un des moteurs les plus importants de notre société mondialisée est la capacité des individus à se rencontrer en personne. Le transport aérien a permis aux personnes (et aux marchandises) partout dans le monde de se rendre sur tous les continents. Il y a 50 ans à peine, le transport aérien n'était pas encore abordable, sauf pour les grandes compagnies internationales et certains privilégiés. Aujourd'hui, les industries aéronautiques remplissent le rôle crucial de relier les personnes et les entreprises.

Pendant ce temps, le nombre de vols commerciaux continue de croître régulièrement, que ce soit pour les voyages d'affaires ou de loisirs. Comme l'indiquent les rapports Airbus Global Market Forecast¹ et Boeing Commercial Market Outlook², le nombre de passagers aériens devrait doubler entre 2017 et 2032.

Le transport aérien a été une pierre angulaire de la mondialisation qui a marqué ces cinq dernières décennies et il continuera à jouer ce rôle à l'avenir.

Préoccupations environnementales

En parallèle, des critiques se font entendre. La mondialisation, et par extension l'industrialisation, largement alimentée par les combustibles fossiles, ont exercé une pression énorme sur notre planète. Nous sommes arrivés à un point où il existe un consensus scientifique selon lequel si aucune mesure n'est prise rapidement, les dommages seront irréversibles. Les préoccupations liées au réchauffement climatique ont donné lieu à des accords internationaux sur les émissions de CO₂ d'origine humaine, qui ont débouché sur une législation visant l'ensemble des secteurs du transport. Ensemble, ils sont responsables d'environ 15 % des émissions totales de gaz à effet de serre dans le monde.³ Et même si la part de l'aviation dans ce domaine est relativement faible (environ 2 % du total, soit 12 % des transports),⁴ l'industrie souffre d'une perception négative à cet égard.

Le secteur s'est rendu compte que son empreinte écologique et son image devraient être corrigées, c'est pour cela qu'il s'est tourné vers de nouvelles technologies avec pour objectif de rendre le transport aérien plus respectueux de l'environnement. Dans le Schéma 1, l'Association internationale du transport aérien (IATA) décrit comment l'émission de CO₂ produite par le secteur pourrait évoluer entre 2010 et 2050 si la croissance prévue du nombre de passagers se maintient. Sans aucune action ciblée, l'émission de CO₂ doublerait. Il est donc évident que les entreprises d'aviation et de propulsion d'avions doivent trouver

des solutions. En plus des préoccupations de masse, les améliorations doivent également se focaliser sur l'optimisation des moteurs d'avion déjà en service ou via l'amélioration des opérations et des infrastructures. Des technologies nouvelles seront nécessaires pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de 50 % d'ici 2050. Outre les biocarburants et les carburants à base d'hydrogène, d'autres configurations de cellules, ainsi que des technologies structurelles et matérielles comme la technologie d'aile déformable, les systèmes de propulsion d'avion électriques et hybrides-électriques présentent un potentiel.

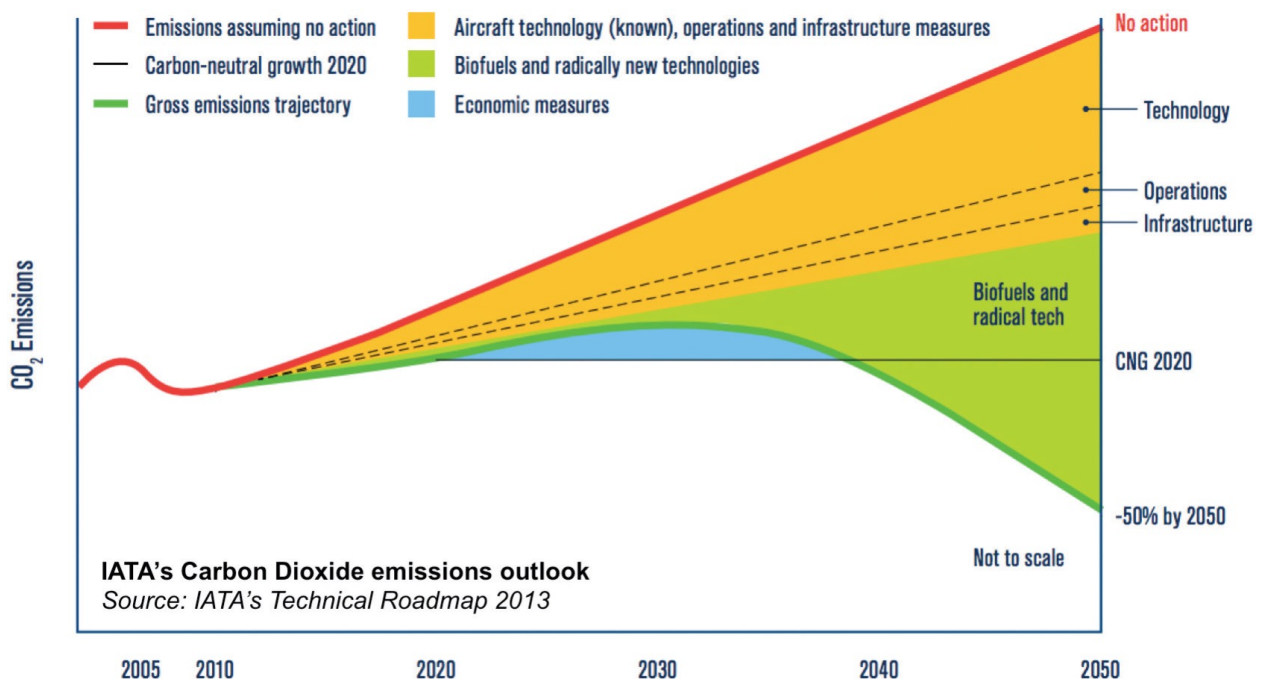


Schéma 1 : Évolution des émissions de CO₂ compte tenu de l'évolution des technologies.⁵

Consommation de carburant et coût opérationnel

En plus des préoccupations environnementales, l'industrie aéronautique a tout intérêt à améliorer l'efficacité énergétique et à réduire sa dépendance aux combustibles fossiles, en particulier pour les avions commerciaux. Le Schéma 2 présente le coût total de possession (TCO) d'un Boeing modèle 737-800. Plus de 50 % des coûts sont directement liés au carburant. C'est une charge financière énorme pour les exploitants, qui doivent en plus gérer les fluctuations du prix des combustibles fossiles qui dépend de la situation géopolitique mondiale. Toute amélioration dans ce domaine aura un impact positif sur l'aspect financier des opérations de transport aérien. L'électrification apparaît donc comme une opportunité à saisir. Selon l'IATA, la technologie hybride électrique pourrait réduire la consommation de combustibles fossiles de 10 à 40 % d'ici 2030 pour les petits avions (15 à 20 sièges) et même de 40 à 80 % pour les avions de taille moyenne (50 à 100 sièges) d'ici 2045. Et il s'agit seulement de l'étape intermédiaire vers l'électrification complète.

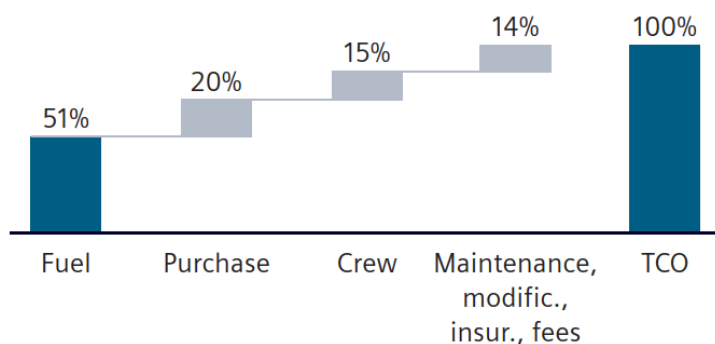


Schéma 2 : Coût total de possession (TCO) d'un avion commercial typique à couloir unique.⁶

Exploitation dans les aéroports

Outre la consommation de carburant et les émissions, les nuisances sonores et la qualité de l'air font partie des préoccupations de l'industrie aéronautique. Lorsque des travaux d'agrandissement des aéroports sont entrepris ou que de nouveaux sont prévus, les nuisances sonores sont souvent l'une des principales

difficultés à gérer. Pour parvenir à une croissance durable en harmonie avec les personnes vivant à proximité des aéroports, l'industrie aéronautique doit tenir compte de cet aspect. Les constructeurs d'avions et les exploitants d'aéroports doivent collaborer et exploiter les nouvelles technologies à leur disposition pour réduire les nuisances sonores au minimum.

L'électrification présente des avantages qui pourraient résoudre ce problème. Les entraînements électriques pourraient réduire la vitesse de rotation des hélices et des ventilateurs, tout en maintenant la puissance de propulsion. En outre, ils pourraient permettre l'application de la propulsion distribuée. Cela permettra aux ingénieurs d'explorer différentes architectures d'avions afin de concevoir des ventilateurs qui seront protégés par la structure de l'appareil et éviter ainsi la propagation directe du bruit.

Sécurité en vol

La sécurité est la priorité numéro un de tous les acteurs du secteur aéronautique. L'augmentation de l'électrification dans le domaine de l'aviation ajoute une couche supplémentaire de complexité, qui rend difficile l'analyse et l'atténuation des défaillances. De plus, l'analyse des interconnexions entre les nouveaux systèmes électriques nécessite une collaboration et des efforts considérables de la part des équipes d'ingénierie. Ces systèmes exécutent souvent des fonctions de contrôle générées automatiquement sur la base d'une logique avancée et d'un vaste ensemble de capteurs. Il est donc nécessaire de mettre en place un processus pour faciliter l'échange de données de conception tout au long du cycle de vie de l'avion.

Pourtant, les systèmes automatisés sont fabriqués par l'homme et ne sont pas à l'abri d'un dysfonctionnement. D'autant plus qu'ils ajoutent aussi un degré de complexité inédit au processus de développement de l'appareil. Le déploiement de l'électrification dans les avions va générer un grand nombre de nouveaux systèmes, qui combinent souvent des technologies diverses. L'intégration de ces systèmes pourrait devenir un problème, notamment en raison du nombre et de la diversité des parties prenantes impliquées.

I Électrification des futurs avions

Nous sommes actuellement dans une période de développement évolutif des fuselages classiques (configuration Tube And Wing), en attendant une nouvelle vague d'innovation d'ici 2035 (si les conditions économiques sont favorables). Nous assistons aujourd'hui aux premiers pas de l'électrification des avions, ainsi qu'à l'introduction d'autres technologies structurelles et matérielles innovantes. Mais il reste encore beaucoup de travail à faire avant de pouvoir parler d'une véritable transformation de l'industrie.

Même si les systèmes de propulsion utilisant des moteurs électriques sont prometteurs et vont progressivement trouver leur place sur le marché, ils n'ont jusqu'à présent pas été mis en œuvre sur d'autres appareils que des petits aéronefs de l'aviation générale. La masse des moteurs électriques d'aujourd'hui représente bien sûr un défi pour une application à grande échelle sur un avion. Et le stockage de l'énergie électrique a encore une densité de puissance beaucoup plus faible que le kérosène traditionnel. Nous mettons en évidence certains des défis spécifiques dans les paragraphes suivants.

Il est indéniable que beaucoup de choses bougent. Un nouveau marché est en train d'émerger : la mobilité aérienne urbaine (UAM). Les unités de propulsion électrique permettent aux entrepreneurs de développer de nouveaux concepts d'aéronefs qui pourront voler au-dessus des zones dites "encombrées". Ce segment de marché est accéléré par l'essor du secteur des drones. Très bientôt, ceux-ci arriveront à maturité et seront capables de transporter des personnes. Leur présence sur le marché peut aider certaines entreprises fournisseurs à se développer et à accélérer la préparation des technologies nécessaires pour soutenir la mobilité aérienne urbaine.

Les défis de l'ingénierie technologique Intégration des systèmes électriques haute puissance

L'intégration de systèmes électriques de moyenne à haute puissance dans les avions est relativement nouvelle pour l'industrie. En effet, certains appareils, comme le Boeing 787, ont déjà atteint un certain degré d'électrification. Mais il ne s'agit là que d'applications comme des systèmes d'actionnement électriques remplaçant leurs équivalents hydrauliques classiques, ou des pompes électriques alimentant le système de contrôle de l'environnement (ECS) au lieu du système de prélèvement d'air des réacteurs. Néanmoins, ces applications ont progressivement établi la norme pour la puissance électrique installée à bord à 1 ou 2 mégawatts (MW) pour un gros-porteur long-courrier.

Il faut maintenant procéder à une augmentation d'échelle importante pour mettre en œuvre la propulsion électrique. Le Schéma 3 présente la puissance nécessaire pour soulever différentes catégories d'avions. Un UAM relativement simple, transportant quatre à six personnes en configuration de décollage et d'atterrissage vertical (VTOL), nécessite autant de puissance qu'un gros-porteur long-courrier, alors qu'un avion de passagers court-courrier en nécessite déjà 10 à 100 fois plus. Cela a beaucoup d'implications. Les nouvelles technologies et solutions devront augmenter la tension et le courant à des niveaux qui n'ont jamais été mis en œuvre dans les avions. Par exemple, cela nécessitera de nouveaux faisceaux électriques.






Short range aircraft		150-250	< 50 MW
Regional aircraft		< 150	< 20 MW
Commuter and business aircraft		< 19	< 2 MW
Urban Air Mobility (VTOL)		1-4	< 1 MW
Small propeller aircraft		1-4	50-300 kW

Schéma 3 : Puissance électrique requise par type d'avion.

Densité de puissance

Chaque kilogramme compte dans un avion. Les moteurs électriques industriels actuels atteignent généralement des densités de puissance d'environ 1 kilowatt par kilogramme (kW/kg). Cela est tout simplement insuffisant. Pour pouvoir mettre en œuvre les unités de propulsion électrique (EPU), cette valeur devrait passer à au moins 10 ou 15 kW/kg. Outre le moteur, il en va de même pour les sous-systèmes tels que les onduleurs et autres.

La réduction de la masse sera cruciale. La bonne nouvelle est que les moteurs électriques et les onduleurs actuels peuvent potentiellement devenir plus légers. Cependant, y parvenir sans affecter d'autres aspects de la conception, comme le comportement thermique, représentera un défi important. Dans les moteurs industriels que nous connaissons aujourd'hui, les comportements électromagnétiques, électriques, structurels et thermiques sont faiblement couplés. Cela changera radicalement lorsque l'on retirera de la masse.

Une structure moins importante réduira la masse, mais elle aura un impact sur sa capacité thermique. La température du moteur augmentera plus rapidement. Cela peut provoquer des déformations thermiques dans le système électromagnétique, qui à leur tour impactent l'efficacité du moteur. Des exigences plus strictes en matière de rejet de chaleur pourraient également être fixées pour empêcher la démagnétisation des aimants permanents.

En résumé, une densité de puissance plus élevée entraînera toujours une interaction plus étroite entre les domaines de la physique et de l'ingénierie concernés.

Gestion thermique

Les systèmes électriques nécessitent une approche du rejet de la chaleur totalement différente de celle des systèmes d'alimentation traditionnels. Dans les avions d'aujourd'hui, l'échange de chaleur entre les systèmes se fait de manière quasi-statique, ce qui permet une approche de développement de la charge thermique maximale. Dans les futurs avions, l'échange de chaleur sera beaucoup plus complexe, dynamique et avec des valeurs qui peuvent être cinq à dix fois plus élevées qu'aujourd'hui. La plupart des approches de développement actuelles conduiraient à des systèmes surdimensionnés et à un avion surchargé.

Par conséquent, la conception des systèmes de gestion thermique devra être plus intelligente. Elle devra être systématique et inclure tous les composants qui peuvent jouer un rôle de source ou de puits de chaleur, comme les systèmes de propulsion, les systèmes de contrôle environnemental, le groupe motopropulseur, le carburant et même la structure de l'avion. Pour ce faire, il faut une approche d'ingénierie système qui vous permette de vous éloigner de la méthode actuelle de traitement cloisonné de la chaleur et de définir l'architecture du système de gestion thermique depuis le début du cycle de développement jusqu'au niveau de l'avion fini.

Les défis liés au processus de développement

Comme nous l'avons noté, l'électrification va intensifier l'interaction entre les différents aspects physiques et ajouter de la complexité au développement des avions. D'autant plus que, l'application de nouvelles technologies comme l'automatisation des systèmes, les logiciels embarqués et d'autres encore viendront également s'y ajouter.

Aujourd'hui, les programmes aéronautiques sont rarement livrés dans les délais et les budgets prévus en raison des défis techniques et organisationnels. Afin que le développement, la certification et la production restent abordables, il faudra repenser les processus de développement actuels.

Nous décrivons ci-dessous comment certains des aspects mineurs des processus de développement d'avions peuvent entraver ou retarder l'introduction de technologies innovantes.

Les organisations cloisonnées créent des angles morts dans l'ingénierie de la performance

L'un des problèmes majeurs du développement des avions est l'ampleur et la complexité qui ont conduit à répartir les programmes entre différents partenaires dans le monde. La division du travail se fait le plus souvent comme si un avion était un assemblage de systèmes séparables pouvant être intégrés à un stade ultérieur. Il existe évidemment un flux constant de communication entre les différentes parties prenantes, mais il est souvent basé sur des données numériques obsolètes, des documents non structurés qui sont ensuite diffusés dans toute l'organisation. Les budgets alloués au système de refroidissement entre les services électriques et ECS sont un exemple concret de ce cloisonnement des données.

Une approche en silos ne peut jamais saisir la dynamique des interactions physiques entre les systèmes. Par conséquent, chaque service doit mettre en place des marges de sécurité afin de couvrir les incertitudes aux interfaces, ce qui se traduit alors par une augmentation de la masse. Ce cloisonnement entraîne de mauvaises performances, une augmentation des coûts de test et de certification de l'intégration, une enveloppe opérationnelle complexe et, dans le pire des cas, il compromet l'intégralité du programme. Voici deux exemples qui illustrent ce problème.

Gestion thermique

L'un des cas les plus frappants est la manière dont la vérification thermique est habituellement effectuée. Les ingénieurs des grandes entreprises ne ménagent pas leurs efforts et utilisent différents outils, notamment l'analyse par éléments finis (FEA)

et la simulation de la dynamique des fluides. Mais la plupart du temps, seuls les essais en vol révèlent si une structure, un système ou un sous-système fonctionne à température élevée ou non. Et la communication entre les services se fait généralement avec des données PDF (voir Schéma 4), qui ne tiennent pas compte des interactions énergétiques aux interfaces des systèmes, qui sont dynamiques.

Un tel angle mort peut s'avérer problématique pour l'ensemble du programme de développement de l'avion. Il pourrait être nécessaire de procéder à des modifications tardives de la conception afin de remédier au problème, voire, dans le cas le plus grave, de concevoir un nouveau banc d'intégration (Iron Bird), dédié à la gestion thermique. Autant d'éléments qui peuvent entraîner des dysfonctionnements importants, des coûts supplémentaires conséquents, et à terme une mauvaise exécution des programmes.

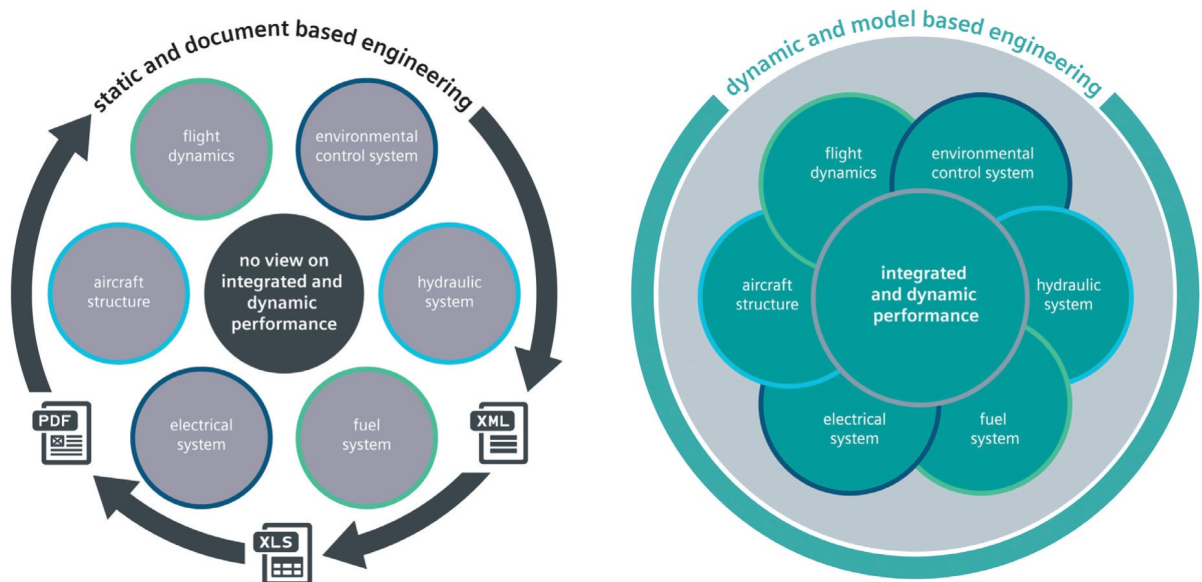


Schéma 4 : Une approche cloisonnée ne peut jamais saisir la dynamique et les interactions physiques entre les systèmes. Une approche d'ingénierie dynamique et basée sur des modèles permet une vision intégrée des performances.

Intégration du système électrique

Aujourd'hui, la conception du système électrique, des faisceaux électriques (mécanique), l'analyse des performances et les tests d'intégration du système (tests d'interférence électromagnétique/de compatibilité électromagnétique IEM/CEM) se font de manière cloisonnée. Les gestionnaires de programmes reconnaissent généralement que cela entraîne des difficultés supplémentaires. Vous savez où vous commencez, mais vous ne savez jamais à quel moment cela va se terminer.

En effet, la certification IEM/CEM est généralement coûteuse et basée sur une approche à tâtons. Lorsqu'une certaine conception, déjà mise en œuvre sur le prototype, n'est pas conforme aux normes IEM/CEM, on détourne généralement des branches du faisceau. Il faut alors modifier la conception du système électrique, ce qui entraîne des changements dans la conception mécanique et conduit normalement à une meilleure performance IEM/CEM. Bien trop souvent, ce processus est sans fin (voir Schéma 5).

Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité basées sur des modèles

Les méthodologies manuelles actuelles en matière de fiabilité, de disponibilité et de maintenabilité (RAMS) sont cloisonnées et ne peuvent pas être utilisées pour faire face à la complexité croissante et aux interdépendances des systèmes (voir schéma 6). Elles entraînent des incohérences dans la conception en raison des différences de terminologie et de méthodologie. En outre, l'approche manuelle est difficile à mettre à l'échelle. La combinaison de l'analyse RAMS est une tâche exigeante et les rapports sont pénibles à maintenir. Par exemple, avec cette approche traditionnelle, un ingénieur en sécurité effectuant une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) sur un système d'avion doit réunir des ingénieurs spécialisés dans différents aspects du système développé (électrique, avionique, logiciel, matériel, etc.). L'utilisation de la tabulation pour commencer et le rassemblement régulier des mêmes ingénieurs pour mettre à jour et maintenir le tableau AMDE sont des tâches fastidieuses, qui impliquent une

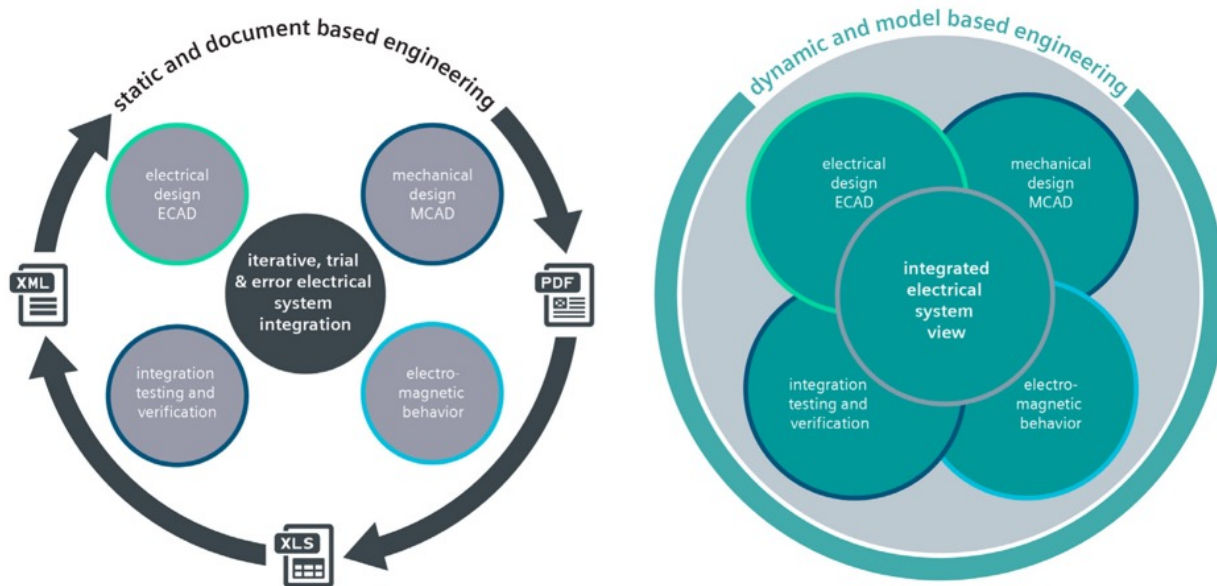


Schéma 5 : Aujourd'hui, la conception du système électrique, des faisceaux, l'analyse des performances et les tests d'intégration du système électrique se font de manière cloisonnée. Trop souvent, il en résulte un processus sans fin. Une approche d'ingénierie dynamique et basée sur des modèles permet une vision intégrée des performances.

inefficacité au niveau de l'allocation des ressources et entraînent un ralentissement du processus global de développement. Les processus RAMS basés sur des modèles placent le modèle du système au centre de l'analyse en définissant une taxonomie commune comprise par les parties prenantes. L'analyse des défaillances est ainsi cohérente, explicite et efficace.

L'analyse RAMS basée sur des modèles (le jumeau numérique d'analyse des risques) permet aux ingénieurs de collaborer davantage avec les autres disciplines et services, d'automatiser et de digitaliser l'analyse RAMS et de réduire les erreurs. Ce modèle

se compose d'un modèle fonctionnel et logique du produit, d'une taxonomie complète décrivant les défaillances, leurs causes, leurs mécanismes et leurs conditions opérationnelles et d'un modèle de propagation des défaillances. Sur la base de ce jumeau numérique d'analyse des risques, un grand nombre d'analyses RAMS peuvent être réalisées dès le début de la conception.

Ainsi, la complexité croissante des avions exige un passage à des méthodologies basées sur des modèles et automatisées : un jumeau numérique d'analyse des risques basé sur des modèles.

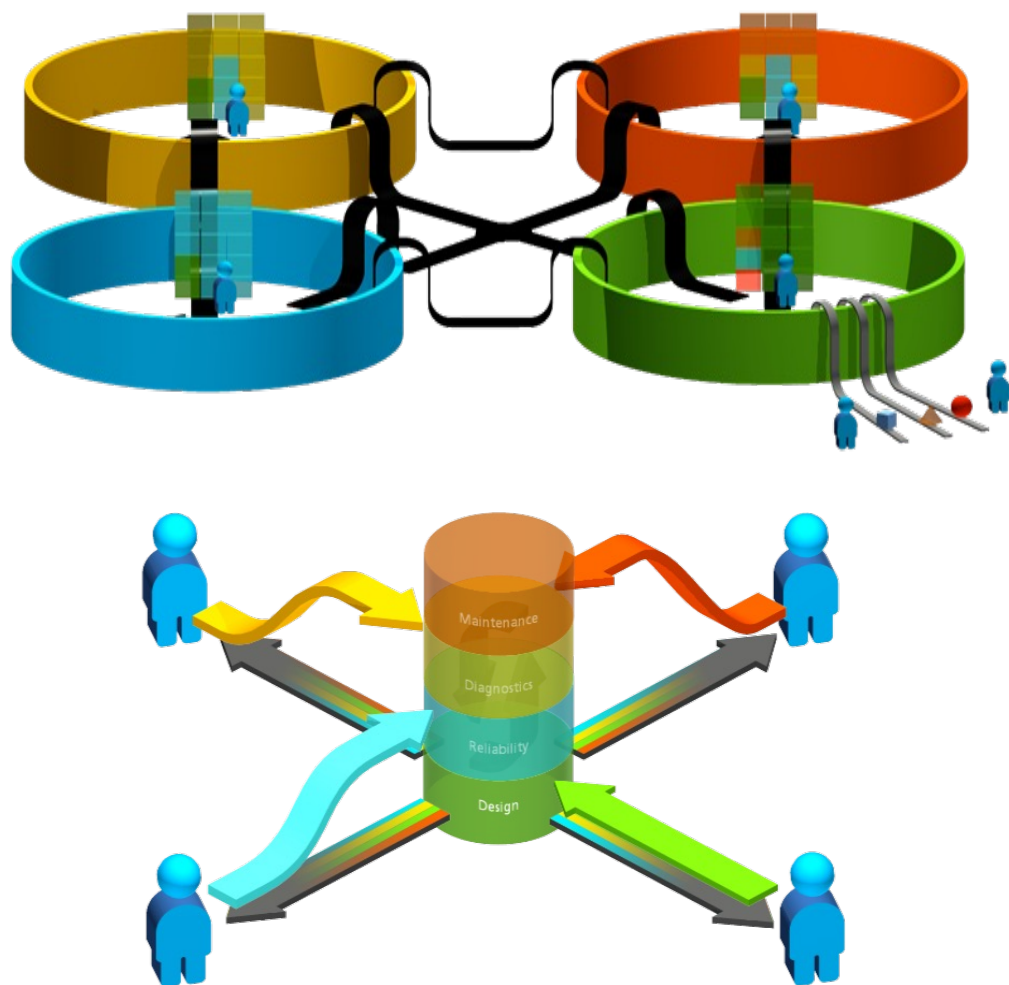


Schéma 6 : Le jumeau numérique d'analyse des risques rationalise la collaboration entre les ingénieurs chargés de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité

Une nouvelle approche de l'ingénierie aéronautique

Les défis technologiques que nous décrivons sont inhérents au développement des avions, et à l'électrification. Seul un processus numérique généralisé à tous les niveaux peut permettre de répondre à ces problématiques.

En termes de technologie, il faudra des procédés capables de réaliser des prévisions afin d'atteindre la densité de puissance optimale. Il faudra également étudier de nouvelles configurations et architectures d'avions, et gérer toutes les questions thermiques, ainsi que les défis de sécurité et de fiabilité liés aux nouvelles technologies. Pour ce qui est du processus, une plateforme qui intègre les différentes disciplines et la physique impliquées dans le développement doit être mise en place. Elle doit également assurer le suivi des flux de travail, les décisions d'ingénierie et les opérations de vérification. Nous parlons du jumeau numérique complet et de la continuité numérique (voir Schéma 7). Dans cette section, nous expliquons

comment Xcelerator, le portefeuille complet et intégré de logiciels, de matériel et de services de Siemens, peut vous aider à déployer l'infrastructure et les solutions nécessaires.

Les solutions du portefeuille de Siemens Digital Industries Software en matière de jumeau numérique et de continuité numérique ont fait leurs preuves depuis longtemps en améliorant considérablement l'exécution des programmes aéronautiques. En tant que leader industriel mondial, Siemens s'efforce de fournir des solutions qui permettront aux entreprises de tout le secteur des transports, y compris l'aéronautique, d'amorcer leur transition numérique. Pour parvenir à ce résultat, nous avons réalisé d'importants investissements dans la recherche et le développement (R&D), établi des partenariats stratégiques et entrepris l'acquisition de pionniers technologiques capables d'apporter des décennies d'expertise pour soutenir vos activités.



Schéma 7 : La plateforme Siemens de jumeau numérique et continuité numérique.

Une partie importante de cette offre est regroupée dans le portefeuille de solutions logicielles et matérielles Simcenter, une plateforme complète qui combine la simulation avec des outils et des services de test pour l'ingénierie de la performance. Simcenter permet aux ingénieurs aéronautiques de modéliser, de comprendre et d'optimiser le comportement physique de tous les éléments des avions de demain, y compris le développement structurel, le transfert de fluides et de chaleur, le développement des systèmes, la gestion thermique, le confort de la cabine, l'électromagnétisme et l'intégration, la vérification, les tests de certification et bien d'autres choses encore. Les solutions intégrées dans l'environnement Simcenter offrent une approche de modélisation évolutive, allant des composants à l'avion intégré, et des représentations de basse à haute-fidélité. Simcenter peut prendre en charge toutes les phases de développement, depuis le concept initial, les études de compromis et la conception détaillée jusqu'à la phase de vérification. Simcenter couvre tous les aspects physiques et les disciplines concernées, et complète le paradigme jumeau numérique/continuité numérique.

Le Schéma 8 présente les domaines dans lesquels Simcenter est utilisé. Dans les sections suivantes, nous étudions son importance dans l'ingénierie de la performance.

De plus, Simcenter offre la possibilité de se connecter à Xcelerator Share, une solution de collaboration ad hoc basée sur le cloud et centrée sur l'ingénierie, qui permet aux équipes de toutes tailles de collaborer en toute sécurité avec les principales parties prenantes, notamment les concepteurs, les gestionnaires, les ingénieurs de test, les fournisseurs et les clients, avec un contrôle d'accès approprié. La plateforme fournit un espace de travail évolutif, basé sur les projets, qui offre une plus grande flexibilité dans le développement de produits. Les membres du projet peuvent

visualiser et annoter les conceptions, partager des modèles de simulation et évaluer les résultats de la simulation à l'aide de n'importe quel appareil.

Suppression des cloisonnements à l'aide d'une ingénierie système basée sur des modèles (MBSE)

Comme nous l'avons démontré précédemment avec des exemples de gestion thermique et d'intégration de systèmes électriques, une approche cloisonnée peut sérieusement entraver le succès d'un programme. Plus vite les ingénieurs pourront comprendre le comportement dynamique de l'avion intégré, mieux ce sera, surtout si l'on tient compte de la complexité et de la multiplicité des aspects physiques qui accompagnent l'électrification et d'autres nouvelles technologies. Dans le cadre des processus de développement actuels, les difficultés liées à l'intégration sont identifiées tardivement, trop souvent pendant la phase d'essai en vol. Pour que les coûts de développement des futurs avions soient maîtrisés, il faut que cela change. Une vue intégrée de l'avion dès la phase de conception est nécessaire.

Pour y parvenir, les anciens silos devront apporter leur pierre à l'édifice en proposant des modèles de comportements et travailler ensemble afin de s'aligner sur les méthodes de création des modèles, leur représentation et leur interaction avec les systèmes connexes. De nombreux sous-modèles sont impliqués, y compris une multitude d'aspects physiques et mathématiques. Il faudra impérativement disposer des bons outils et des bonnes méthodes pour parvenir à une synthèse qui intègre tout cela. Pour ce faire, Simcenter offre une stratégie d'avion virtuel intégré (VIA) et d'un banc d'intégration virtuel (VIB). Dans les paragraphes suivants, nous décrivons la nature et la portée de ces solutions.

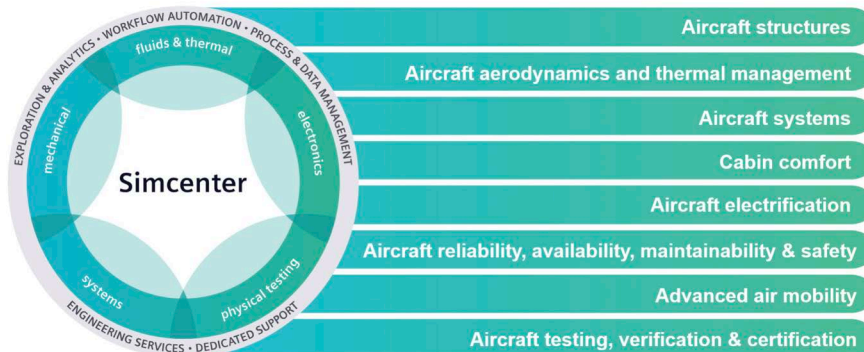


Schéma 8 : Le portefeuille de Simcenter prend en charge ces domaines de l'ingénierie des performances des avions.

Exploitation de modèles d'aviation prêts à l'emploi

En soi, la construction d'un avion virtuel intégré (VIA) est une opération de grande envergure. À l'évidence, il est plus utile de consacrer du temps à l'analyse qu'à la programmation des modèles physiques des différents systèmes de l'avion. Lors de la configuration de simulations, les ingénieurs perdent trop souvent du temps à réinventer la roue, alors qu'ils pourraient simplement partir de représentations existantes et effectuer de petits ajustements. C'est pour cela que Simcenter met à leur disposition des bibliothèques pour les systèmes d'avion. Celles-ci ont été validées avec les principaux intégrateurs d'avions, les fournisseurs et les partenaires universitaires. Il existe des modèles bien documentés pour des composants, par exemple le système électrique, le système pneumatique, le système hydraulique, les commandes de vol, le train d'atterrissage et autres. Ils prennent en compte les nouvelles configurations des avions, comme les systèmes de propulsion hybride électrique.

Grâce à ces bibliothèques, les ingénieurs peuvent se concentrer sur la conception de leurs produits, plutôt que sur la programmation d'un modèle physique. Vous pouvez ainsi réaliser un plus grand nombre d'études de compromis en amont et mieux cerner l'architecture optimale de la structure et du système. Il ne faut pas sous-estimer l'importance de cet aspect dans le cadre du programme général. Une connaissance plus approfondie l'avion intégré permet de faire de

meilleurs choix, ce qui diminue fortement les risques et réduit le nombre de modifications à apporter au cours du programme. Simcenter est une plateforme ouverte, dans laquelle des données provenant d'autres outils de l'industrie peuvent être incluses de manière transparente. Cela permet aux ingénieurs de combiner les composants des bibliothèques standard avec leurs propres modèles existants.

Mise à l'échelle des modèles en fonction des besoins d'ingénierie

Plutôt qu'un modèle unique complet, un avion virtuel intégré (VIA) est un ensemble de modèles, de données et de paramètres qui se présentent sous diverses représentations et qui évoluent continuellement au cours du cycle de développement. Une plateforme pour l'avion virtuel intégré (VIA) permet aux ingénieurs de choisir et de combiner des sous-systèmes sous une forme ou à une échelle qui correspond le mieux à l'application.

Simcenter fournit une large gamme de solutions compatibles, ce qui en fait à bien des égards une plateforme évolutive pour l'avion virtuel intégré (VIA).

Des modèles grossiers au développement détaillé

Au cours des premières études de compromis architecturaux, les ingénieurs passent souvent à côté de paramètres de conception détaillés et doivent utiliser des modèles grossiers pour prendre les décisions initiales. Plus tard dans le cycle de développement,

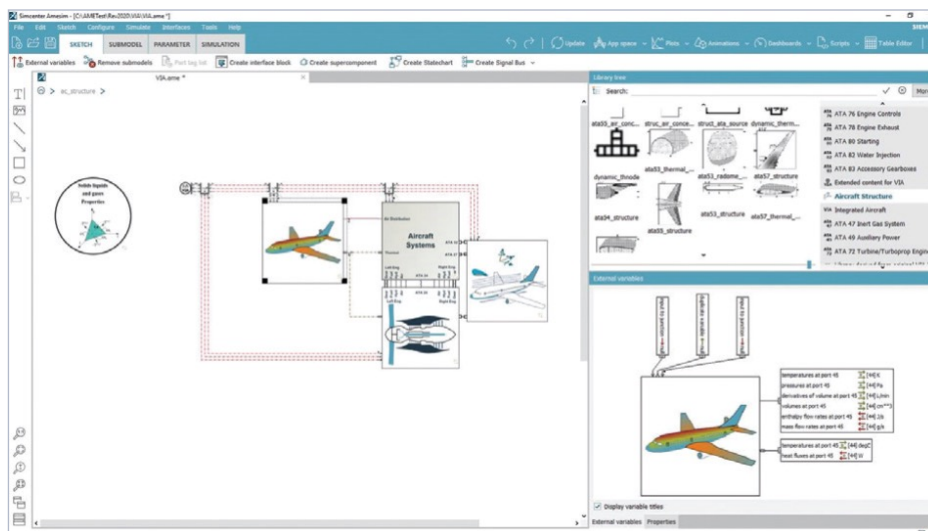


Schéma 9 : Les anciens silos devront apporter leur pierre à l'édifice en proposant des modèles de comportements et travailler ensemble afin de s'aligner sur les méthodes de création des modèles, leur représentation et leur interaction avec les systèmes connexes. Pour ce faire, Simcenter offre une stratégie d'avion virtuel intégré et de banc d'intégration virtuel.

lorsque plus de détails sur la physique seront disponibles, ces décisions pourront être élaborées à l'aide de simulations approfondies.

Mais au cours de ces dernières étapes, l'application joue également un rôle dans la sélection du modèle. Pour obtenir la précision nécessaire à l'exécution des calculs, le degré de détail d'un modèle ne doit être ni trop grand ni trop petit pour assurer une précision suffisante et une granularité correcte, conforme à l'intention de modélisation. Les exigences à cet égard peuvent dépendre de l'application. Il faut donc disposer d'outils capables d'adapter le niveau de détail en fonction des besoins de l'ingénierie, tout en utilisant systématiquement le même modèle de base. Simcenter vous offre ce degré de flexibilité.

Des composants à l'avion intégré

Des capacités de simulation et des bibliothèques sont indispensables pour modéliser les sous-systèmes et leurs composants séparément, mais également comme éléments intégrés à l'avion. Les composants et les paramètres peuvent être représentés sous différentes formes ou à différents niveaux d'abstraction. Par exemple, comprendre le comportement physique détaillé d'une servovalve de frein d'avion est indispensable. Il est tout aussi important de prendre ce modèle et de l'intégrer dans le système de freinage, mais aussi d'étudier son comportement

au niveau du train d'atterrissage. Il est également essentiel de comprendre la réaction du système à une défaillance potentielle de ses sous-systèmes ou de ses composants. C'est là que les capacités de RAMS aident l'utilisateur à déterminer les défaillances dès le début de la conception. Au final, l'objectif est de comprendre comment la servovalve contribue au succès d'un scénario de décollage interrompu au niveau de l'avion.

Grâce à Simcenter, les ingénieurs peuvent trouver des connaissances sur les applications intégrées et exploiter le savoir-faire industriel de la solution pour les aider à choisir la représentation de modèle appropriée pour chaque application.

De l'élaboration du concept à la phase de vérification

La portée de la simulation n'est pas limitée au développement d'avions. Il a été prouvé que lorsque la continuité des données est garantie jusqu'à la phase de vérification, la simulation peut également contribuer à réduire le coût de la certification. Cela s'applique à la fois à la certification des structures et des systèmes, ainsi qu'aux stratégies de contrôle et aux scénarios de vérification logicielle, notamment aux tests Model-In-The-Loop (MiL), Software-In-The-Loop (SiL), Hardware-In-The-Loop (HiL) et Pilot-In-The-Loop. Pour être applicables dans ce contexte, les modèles physiques, qu'ils soient détaillés ou grossiers, doivent

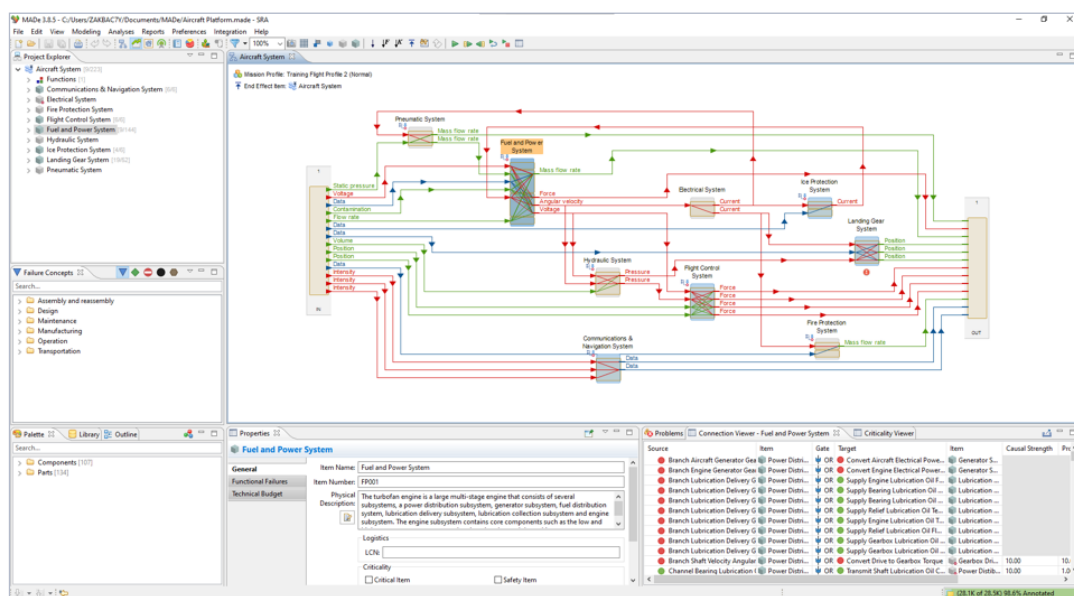


Schéma 10 : Un jumeau numérique d'analyse des risques basé sur des modèles contient les informations du système intégrées à une série de perspectives de modélisation interdépendantes pour soutenir le processus de conception RAMS.

généralement être adaptés au test. Très souvent, il faut adapter les modèles pour qu'ils puissent fonctionner en temps réel, afin d'assurer leur continuité tout au long du cycle en V.

La plateforme Simcenter comprend à la fois des capacités de simulation et de test. De ce fait, elle inclut de nombreuses technologies et méthodes qui permettent aux ingénieurs de manipuler les modèles dans le cadre d'une phase de vérification. Simcenter fournit également un processus de vérification, y compris des méthodes permettant d'accélérer la comparaison entre les ensembles de données dans un environnement géré dans lequel la traçabilité est assurée en conservant une continuité numérique de gestion de la vérification.

Le jumeau numérique d'analyse des risques est une représentation 1D du système allant du niveau de l'avion au niveau du composant. Dans ce modèle, les risques sont bien compris au début du développement puisqu'il est possible de propager les défaillances du système à partir du début et de retracer les conséquences des risques.

La fonction RAMS de Simcenter, basée sur des modèles, permet de créer un jumeau numérique d'analyse des risques. L'utilisateur peut se concentrer sur la création d'un modèle solide du système et sur la fourniture de conditions opérationnelles précises. Les analyses RAMS, comme les AMDE, les analyses d'arbres de défaillance et les diagrammes de fiabilité, sont effectuées automatiquement et peuvent être facilement exportées dans des documents modèles standardisés. Cela permet de réduire le temps de développement et d'accélérer le processus global de conception et de vérification.

Satisfaire une vaste gamme de secteurs et d'applications

Comme mentionné dans les sections précédentes, les défis technologiques du développement des futurs avions seront très bénéfiques pour des aspects tels que la densité de puissance, la gestion thermique et la sécurité. Pour être un bon partenaire d'innovation, on ne peut pas maîtriser toutes les disciplines. Bien au contraire, surtout lorsque l'accent est mis sur la suppression des cloisonnements et des solutions globales, il est crucial de s'assurer que des solutions de pointe sont disponibles pour chaque discipline individuelle.

Pour ce faire, nous avons investi dans des sociétés technologiques qui disposent de toutes les capacités de pré et de post-traitement nécessaires, ainsi que de solveurs performants, pour une large gamme d'applications. Nous les avons ensuite regroupées dans la plateforme Simcenter.

Tirer le meilleur parti des modèles de simulation

Mettre en place de modèles de simulation précis n'est pas une tâche facile. Trop souvent encore, les modèles ne sont utilisés que pour affiner et valider des options de conception spécifiques présélectionnées, plutôt que de contribuer à la prise de décision.

Avec nos technologies, les ingénieurs peuvent définir les produits de manière totalement paramétrée et associer facilement à la conception une analyse des performances basée sur la simulation, ce qui permet d'explorer la conception de manière approfondie. En ajoutant de nouvelles options de conception générative, comme l'optimisation de la topologie ou des méthodes d'architecture ou de sélection de systèmes intégrés, vous pouvez optimiser vos modélisations de concept, améliorer les dimensionnements, etc.

Simcenter dispose d'outils d'exploration de conception et fournit une plateforme dans laquelle les méthodologies de simulation peuvent être associées à des capacités de conception génériques pour aider les ingénieurs à mettre en place le processus de conception le plus efficace et le plus performant possible.

Création de synergies entre la simulation et les tests

Enfin, avec l'électrification, les innovations logicielles et électroniques augmenteront considérablement le nombre de paramètres et, par conséquent, la complexité des avions qui doivent être optimisés, puis certifiés. Même si la gestion de cette situation nécessitera toujours plus de simulation, la charge de travail des services de test continuera d'augmenter. Cela peut sembler contradictoire, surtout en termes de jumeau numérique et de continuité numérique,

mais ce n'est pas le cas. Les tests sont un élément essentiel du jumeau numérique complet, tant lors de la conception du produit que lors de sa certification. Une intégration plus étroite entre la simulation et les tests est cruciale si vous souhaitez exploiter tout le potentiel du jumeau numérique.

Au cours des premières étapes de développement, la valeur du jumeau numérique est définie par le degré de réalisme de la modélisation qui peut être atteint. Pendant cette phase, il est essentiel de disposer de données réelles mesurées pour valider la précision de la modélisation. Une simulation réaliste exige un travail de test continu sur les composants, les matériaux, les conditions aux limites et bien plus encore. Cela va bien au-delà de la mesure de données précises pour l'analyse de corrélation structurelle standard et la mise à jour des modèles. Les tests permettent aux ingénieurs aéronautiques d'explorer des alternatives de conception et d'acquérir des connaissances sur les nouveaux matériaux, ainsi que sur tous les paramètres qui accompagnent les composants mécatroniques. Cela implique souvent de multiples aspects physiques et nécessite des méthodes de test innovantes.



Schéma 11 : Simcenter est un environnement tout à fait unique, car il est le seul portefeuille sur le marché qui relie directement les tests physiques à la simulation des systèmes, à l'ingénierie assistée par ordinateur 3D et à la mécanique des fluides numérique 3D.

À la fin du cycle de développement, en particulier lors de la certification, la situation est différente, car les tests sont alors généralement au centre des événements. À ce moment-là, la pression est importante. Les prototypes et les infrastructures de test sont coûteux à utiliser, et la découverte tardive de défauts peut avoir un impact direct sur l'entrée de l'avion sur le marché. Et avec la complexité croissante des avions, on peut s'attendre à ce que la part du travail dans ce domaine augmente en raison de la multiplication des variations des produits, des paramètres, des points de fonctionnement, etc. À cette étape, la simulation peut être un excellent atout qui viendrait compléter les processus de test classiques.

En effet, les tests virtuels prennent une place de plus en plus importante dans le processus de certification. Mais il y a des limites, car pour délivrer les certificats de navigabilité, les autorités exigeront toujours des intégrateurs des preuves que les hypothèses de modélisation des simulations sont correctes. Par conséquent, il est préférable d'étudier des approches où les tests physiques et virtuels vont de pair, et où des processus de vérification et de certification moins coûteux et de meilleure qualité peuvent être réalisés grâce à des synergies entre les deux mondes. Par exemple, la simulation pourrait aider à définir la meilleure configuration de test. Il existe souvent des possibilités de simplifier les bancs de test physiques et de compléter certaines parties du test avec des éléments simulés. Cela peut permettre de réduire le coût ou les risques. Il ne s'agit que d'un exemple parmi d'autres.

En ce sens, Simcenter est un environnement tout à fait unique, car il est le seul portefeuille sur le marché qui relie directement les tests physiques à la simulation des systèmes, à l'ingénierie assistée par ordinateur (IAO) 3D et à la mécanique des fluides numérique (CFD) 3D.

I Conclusion

Le portefeuille de solutions Simcenter, qui fait partie de Siemens Xcelerator, vous offre un ensemble complet d'outils évolutifs et collaboratifs pour l'ingénierie de la performance basée sur des modèles, applicables au développement des avions, de l'élaboration du concept à la certification.

Dès le début du cycle de développement, Simcenter crée un espace de travail collaboratif inter-domaines et permet à l'utilisateur de créer un jumeau numérique complet de l'avion, ou avion virtuel intégré (VIA). Tous les modèles sont évolutifs et peuvent être développés au fur et à mesure que les données deviennent disponibles. Lorsque le développement atteint la phase d'ingénierie détaillée de la performance et de validation des exigences, Simcenter propose des solutions de pointe, spécifiques à l'application, pour toutes les disciplines possibles. Celles-ci peuvent être combinées avec des solutions de test performantes pour la validation des modèles ou pour

augmenter le réalisme. Enfin, les modèles de simulation de Simcenter peuvent servir de base aux tests virtuels et à l'assistance aux essais physiques pendant la certification de l'avion et même après.

Toutes ces solutions se trouvent sur une seule plateforme qui relie également la conception, créant ainsi une continuité numérique qui couvre l'ensemble du cycle de développement. Cela permet aux ingénieurs d'explorer les conceptions de manière plus approfondie, et d'utiliser des fonctionnalités comme l'optimisation de la topologie, ou encore les méthodes génératives pour l'architecture et la sélection de systèmes intégrés. Simcenter peut transformer un processus de développement classique centré sur la vérification en une approche de jumeau numérique complet axée sur la prédiction. Avec Simcenter, les ingénieurs peuvent exploiter tout le potentiel de la simulation.

Références :

1. Global Market Forecast – Cities, Airports & Aircraft 2019-2038, Airbus, 2019.
2. Commercial Market Outlook 2019-2038, Boeing, 2019.
3. <https://www.c2es.org/content/international-emissions>
4. <https://www.atag.org/facts-figures>
5. Aircraft Technology Roadmap to 2050, IATA, 2020.
6. "Electric and Hybrid-Electric Aircraft: A pragmatic view." Conférence CEC/ICMC 2019, Séance plénière, 23/07/2019 - Connecticut Convention Center, Dr Mykhaylo Filipenko.
7. <https://news.aviation-safety.net/2019/01/01>

Siemens Digital Industries Software

Amériques : +33 1 71 22 54 62

Europe, Moyen-Orient, Afrique : 00 800 70002222

Asie-Pacifique : 001 800 03061910

D'autres numéros de téléphone sont disponibles [ici](#).

À propos de Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software facilite la transformation numérique des entreprises intéressées par des solutions d'avenir en matière de conception, d'ingénierie et de fabrication. Siemens Xcelerator, le portefeuille complet et intégré de logiciels, de matériel et de services, aide les entreprises de toutes tailles à créer et à exploiter un jumeau numérique complet qui leur offre de nouvelles perspectives, opportunités et niveaux d'automatisation pour soutenir l'innovation. Pour en savoir plus sur les produits et les services de Siemens Digital Industries Software, visitez siemens.com/software, ou suivez-nous sur [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) ou [Instagram](#).

siemens.com/software

© 2023 Siemens. Pour consulter la liste des marques déposées de Siemens, cliquez sur [ce lien](#). Les autres marques déposées sont la propriété de leurs titulaires respectifs.

82126-D3-FR 2/23 LOC