

L'architecture avionique de l'A380

Airbus a décidé d'adopter une avionique modulaire sur son dernier né, l'A380. Cette architecture apporte une réponse à un besoin rapidement évolutif, car la vie d'un programme d'avions se compte en décennies, alors que les services demandés par les compagnies aériennes et leurs passagers présentent des cycles beaucoup plus courts. Ce concept facilitera les évolutions futures de l'A380 et devient, pour Airbus, le nouveau standard avionique.

**par Pierre Froment,
Airbus**

La technologie de l'avionique modulaire adoptée pour l'A380 se fonde sur:

- des ressources configurables (matériel et logiciel basique) capables de recevoir un certain nombre d'applicatifs (calculs, logiques, entrées/sorties) dédiés à des fonctionnalités particulières de l'avion;
- un réseau Ethernet redondant de 100 Mbits/s, qui a du être adapté pour pouvoir répondre à des contraintes de criticité.

En dépit du niveau d'innovation proposé, un excellent niveau de maturité a été atteint dès le premier vol.

Une multitude de systèmes sont installés à bord de l'avion, dont le but est d'assurer les fonctionnalités nécessai-

res à la conduite de sa mission et à la sécurité de ses occupants. Le tableau ci-dessous en donne une vision non exhaustive.

Le constat d'une évolution et la nécessité d'une révolution

1983-: A310-

- présentation électronique (écrans) pour l'ensemble des instruments de bord et du système d'alarmes-;

- pilote automatique et gestion du vol sur calculateurs digitaux.

1998-: A320-

- système de commandes de vol électriques, calculateurs digitaux-;

- système de maintenance centralisé.

1992-: A340-

- contrôle électronique des gestions d'énergie (électrique, hydraulique)-;

- communication par satellite-;

- système de gestion électronique du carburant.

1992 à 2002-: tous programmes-

- services nouveaux à l'équipage et aux passagers-;

- système de navigation du futur (liaison de données avec les centres opérationnels des compagnies aériennes et centres de gestion du trafic aérien)-;

- nouveaux concepts de navigation aérienne-;

- téléchargement de logiciels.

La figure 1 résume l'évolution perçue sur la puissance totale de calcul, le nombre de bus et le volume de logiciels.

Pour assurer leurs fonctions, ces divers systèmes disposent de capteurs, de calculateurs, d'actionneurs, d'alimentation en énergie, etc. Chacun de ces systèmes doit donc, en soi, être capable de gérer, d'échanger et de traiter des données. Ceci avait historiquement été réalisé par une électronique dédiée à chacun de ces systèmes, qui avait été désignée sous le barbarisme «-avionique-», c'est-à-dire-: avion-+-électronique.

Mais l'augmentation des fonctionnalités demandées a conduit progressivement à une forte inflation du nombre de calculateurs embarqués, qui présente un nombre important d'inconvénients-:

- une masse importante (câblage et calculateurs)-;

- une consommation d'énergie (refroidissement des calculateurs)-;

- un coût élevé (faibles séries)-;

- une fiabilité moindre (nombre élevé de calculateurs)-;

- une gestion complexe de l'obsolescence des composants électroniques.

Par ailleurs, les fonctionnalités à assurer devenant plus complexes, il s'ensuit un

TABLEAU I

Conditionnement, pressurisation	Instruments de bord
Génération & distribution électrique	Navigation
Pilote Automatique	Surveillance des portes
Commandes de vol	Communications
Antigivrage	Protection incendie et fumées
Eclairage	Génération & distribution hydraulique
Maintenance	Train d'atterrissage
Système de carburant	Système propulsif
Système de freinage	Système de démarrage
Services aux passagers	Eaux usées

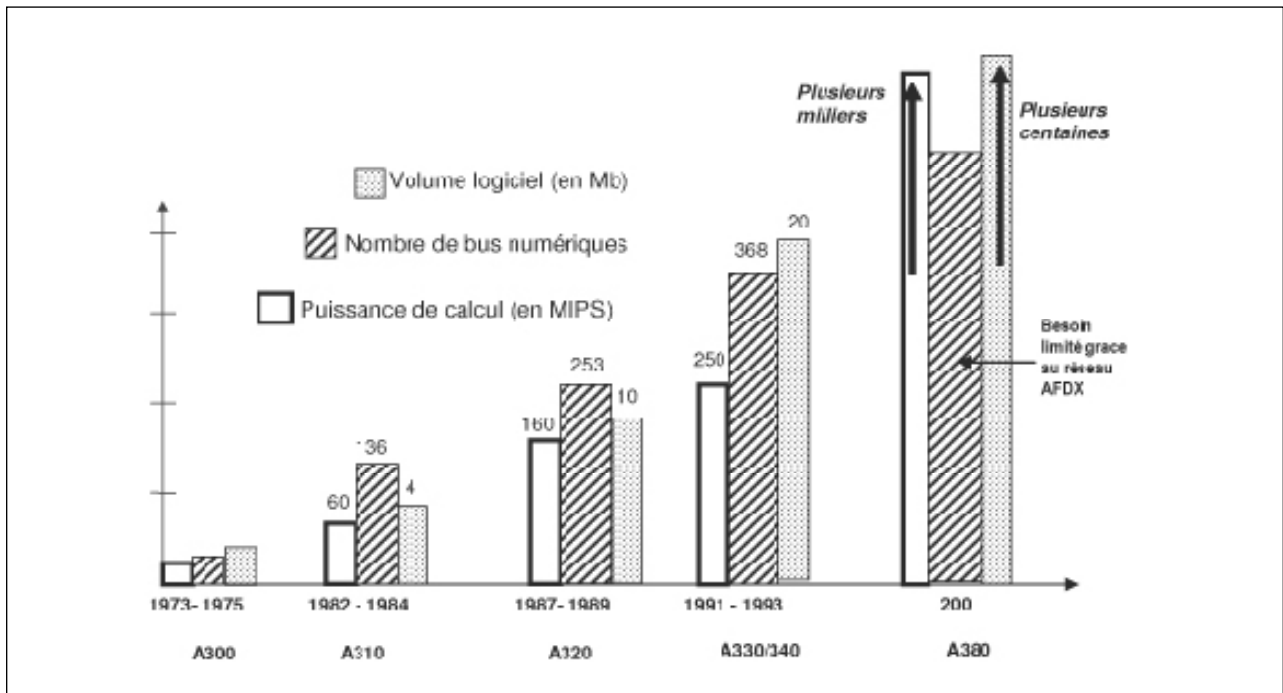


Fig. 1. - Les systèmes électroniques se sont considérablement accrues d'un modèle à l'autre depuis trente ans.

besoin croissant d'échanges de données entre les systèmes eux-mêmes. Il apparaît donc clairement un facteur « exponentiel » dans la croissance de l'échange d'information.

Cet ensemble de facteurs a créé un fort besoin d'évolution; les technologies issues du monde de l'informatique moderne ont permis d'y apporter des réponses. Cependant, les contraintes de l'avionique embarquée ont nécessité un certain nombre de travaux de développement.

Les contraintes de l'électronique embarquée dans un avion commercial

Première contrainte: la sécurité. Le monde de l'aéronautique est soumis à de très fortes contraintes, que nous ne détaillerons pas ici. L'une d'entre elles est qu'aucune panne « unitaire » de l'un quelconque des éléments, même démontrée comme extrêmement improbable, ne doit entraîner d'événement catastrophique.

Deuxième contrainte: la performance opérationnelle. Les attentes légitimes des passagers, l'encombrement du tra-

fic aérien, la gestion des opérations sont des éléments qui conduisent les compagnies à avoir de fortes exigences en matière de fiabilité de l'avion. Typiquement, les exigences exprimées par nos clients sont de l'ordre de « -99,5-% de vols ayant moins de 15 minutes de retard pour des raisons liées à l'avion ». Les autres causes de retard ne manquent malheureusement pas: il est donc nécessaire que l'avion soit aussi transparent que possible dans la difficile orchestration des opérations.

Troisième contrainte: la performance technique. La masse est évidemment le principal ennemi de l'aviation... Il en est un autre, plus insidieux, c'est la consommation électrique. Elle induit un premier effet sur le dimensionnement du système de génération électrique, et un second... sur le système de refroidissement. Par ailleurs, un élément non négligeable est à prendre en compte, particulièrement sur les avions de grande taille: la masse des câblages dépasse souvent largement celle des calculateurs...

Enfin, quatrième contrainte: l'évolutivité. La durée de vie d'un programme d'avion est de plusieurs dizaines d'années (c'est l'âge de l'Airbus A300 ou du Boeing 747, tous deux encore en production). Sur une telle durée, les

évolutions du trafic aérien, des services aux passagers, des possibilités offertes en matière de navigation (etc.) génèrent le besoin d'implémenter sur nos appareils (voire d'appliquer en *retro fit* sur des avions déjà produits) de nouvelles fonctionnalités insoupçonnées lors de sa conception initiale. L'architecture avionique doit donc s'accommoder de cette nécessité.

L'avionique modulaire embarquée a été définie comme une réponse aux défis évoqués ci-dessus. Deux éléments essentiels la composent:

- des modules (appelés « -modules IMA- » dans la suite du texte), standardisés dans leurs composants essentiels, destinés à abriter les divers applicatifs, et à acquérir et échanger des données;
- un réseau de communication à haut débit, appelé AFDX (Full Duplex Ethernet).

Les modules IMA-

Les séries d'avions commerciaux, même les plus vendus, ne dépassent pas les quelques milliers d'exemplaires. C'est à la fois énorme, si l'on compare ce volume aux premiers programmes aéronautiques européens, et insignifiant,

comparé aux productions de l'automobile, de la téléphonie mobile, etc. Si l'on souhaite pouvoir obtenir une électronique développée de manière industrielle et à un coût acceptable, il est nécessaire de couvrir l'ensemble des besoins de l'électronique embarquée, fort différents d'un système à l'autre, par des composants aussi standardisés que possible. L'approche retenue a consisté à développer 8 composants de base (par exemple boîtier, alimentation, carte CPU, plusieurs cartes d'entrée-sortie...), qui peuvent être assemblés de façon flexible, pour couvrir les besoins de chaque système ou groupe de systèmes particuliers (figures 1 et 2). La conception de chaque composant est calculée pour que chacun des modules assemblés ait un «-MTBF-» de 50-000 heures. Par ailleurs, chacun de

ces composants de base est conçu avec l'objectif non pas d'échapper à l'obsolescence des composants, ce qui serait vain, mais d'en limiter le risque et de savoir y faire face. On pourrait ainsi comparer cette stratégie à celle des «-assembleurs de PC-» qui, à partir d'un certain nombre de composants, peuvent élaborer la machine nécessaire aux besoins spécifiques d'un client. Dans le cas de l'A380, ces 8 composants de base permettent d'assembler les 30 modules nécessaires à chaque avion (le nombre total est dû aux nécessaires redondances). Le fournisseur de chacun des systèmes devra donc élaborer ses applicatifs de manière à les implanter dans ces

modules, un même module pouvant ainsi abriter plusieurs applications, provenant éventuellement de fournisseurs différents. Cette stratégie permet une utilisation meilleure des ressources.

La masse est évidemment le principal ennemi de l'aviation... Il en est un autre, plus insidieux, c'est la consommation électrique

Le réseau AFDX-

Comme tout réseau informatique, le but du réseau AFDX est de garantir l'échange de données entre les différents modules, mais aussi entre modules et autres composants des systèmes embarqués. Les caractéristiques supplémentaires attendues d'un réseau embarqué sont relatives au «-déterminisme-» du mode de fonctionnement de celui-ci; il faut, en effet, garantir de manière déterministe l'ache-

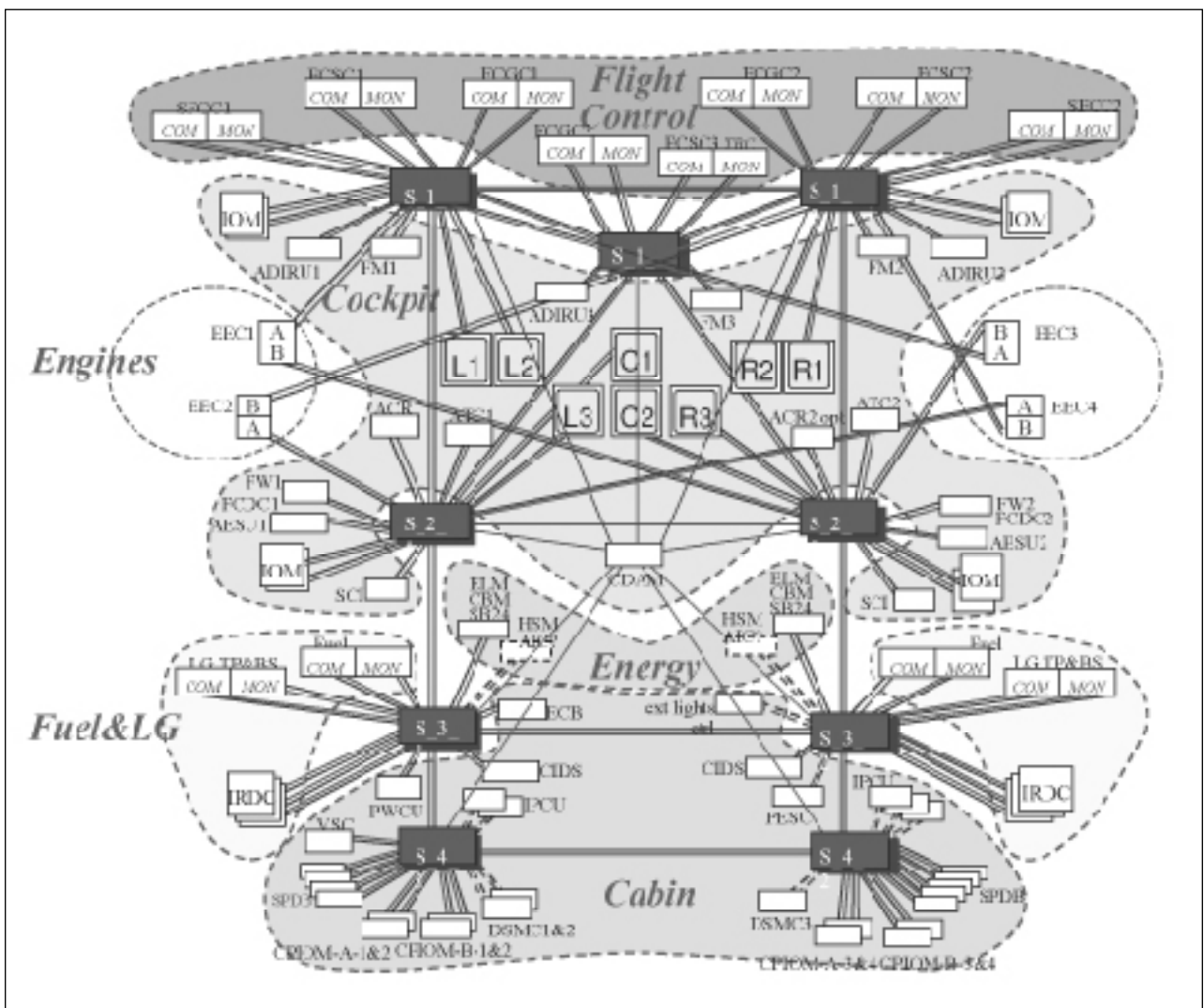


Fig. 2. - L'architecture globale du réseau est particulièrement complexe.

minement effectif des données, mais aussi leur temps de transfert.

Afin de prendre en compte ces contraintes, mais aussi de faire largement appel aux standards du commerce pour pouvoir bénéficier de l'environnement de développement nécessaire à moindre coût, la stratégie s'est appuyée sur la base existante du protocole Ethernet TCP/IP. La mise en œuvre de ce réseau a nécessité le développement de «-routeurs-» (ou «-switchs-»).

La couche physique du réseau a été « durcie-» pour être cohérente avec l'environnement avion et repose sur des paires torsadées en cuivre. L'ensemble du réseau présente évidemment le degré de redondance nécessaire pour satisfaire les exigences de sécurité.

A partir des composants décrits plus hauts, Airbus s'est attaché à définir une architecture de réseau permettant une optimisation de la masse ainsi que des flux de données, tout en respectant évidemment les contraintes de redondance et de ségrégation, indispensables à la sécurité.

L'aspect industriel-

Cette révolution architecturale n'est pas sans conséquences sur le panorama industriel, puisqu'elle revient à ramener, dans une architecture optimisée, des fonctionnalités qui étaient aupara-

vant disséminées de manière plus ou moins harmonieuse.

Sur le plan de l'ensemble de l'avionique modulaire, les acteurs essentiels en sont Airbus (architecte réseau et production de modules), Thalès (production de modules) et Rockwell-Collins (production des routeurs ou « switchs-»).

Mais cette révolution n'est pas sans conséquence sur les autres acteurs. Les équipementiers «-traditionnels-», qui fournissaient les systèmes les plus variés, en développaient la plupart

L'ensemble du réseau présente évidemment le degré de redondance nécessaire pour satisfaire les --exigences de sécurité

du temps aussi la partie «-électronique de contrôle et commande-». Aujourd'hui, Airbus attend d'eux, dans ce domaine, la fourniture d'un applicatif susceptible d'être intégré dans les modules IMA. Ce qui constitue à la fois un changement de «-business model-» (moins de parties physiques) et l'apparition d'un nouveau métier (évolution de compétences). Cette évolution a été accompagnée, par Airbus et Thalès, d'un développement d'outils, diffusés auprès des autres équipementiers et destinés à obtenir un développement plus «-fédéré-», ce qui a limité les problèmes liés à l'intégration.

Globalement, l'ensemble des acteurs de la construction aéronautique a donc contribué à ce qui, après les premiers vols, apparaît déjà comme un succès technique et industriel.

Vers une évolution du nouveau standard

La réponse apportée par l'avionique modulaire intégrée a permis de faire face aux défis de l'A380 et de proposer un nouveau standard pour l'aéronautique, déjà adopté par l'A400M (avion européen de transport militaire).

Ce standard correspond réellement à une rupture par rapport aux architectures qui l'ont précédé. La durée de vie des programmes aéronautiques est telle que la prochaine révolution n'est sans doute pas pour demain. Toutefois, le nombre et la complexité des fonctions attendues de l'électronique embarquée ne cesseront pas pour autant de croître!

Il est donc déjà temps de penser aux évolutions que devra accepter ce nouveau standard pour rester une norme. Il faudra en particulier intégrer, dans les modules IMA, une augmentation de la puissance de calcul et de la capacité de mémoire, mais aussi s'accommoder, en matière d'entrées – sorties, de futurs standards de bus locaux (ou «-bus de terrain-»). Notons que la conception modulaire facilitera cette évolution, en cantonnant les évolutions à quelques-uns des composants. En ce qui concerne le bus AFDX, aujourd'hui supporté par des paires torsadées, l'arrivée de la fibre optique donnera une marge supplémentaire de croissance. ●