

Introduction

Cet ouvrage est le premier d'une série de trois volumes qui traite des actionneurs aéronautiques selon une vision système. Le premier volume est dédié aux généralités, à la fiabilité et aux actionneurs à source de puissance hydraulique. Le second volume porte sur les actionneurs plus électriques (électrohydrauliques, électrohydrostatiques et électromécaniques), autant sous l'aspect signal (*Signal-by-Wire*) que sous l'aspect puissance (*Power-by-Wire*). Le troisième volume illustre les concepts présentés dans les deux volumes précédents à partir d'exemples variés, tant au niveau des applications (commandes de vol, atterrisseurs et moteurs) qu'au niveau des types d'aéronefs (avions commerciaux, militaires ou d'affaires, hélicoptères, convertibles et lanceurs spatiaux).

Pour développer la vision système dans cette série, le défi consiste à combiner judicieusement une approche descendante (du besoin vers la solution) à une approche montante (de la maturité technologique vers la solution). L'idée maîtresse est donc de se focaliser sur les besoins et les architectures (fonctionnelles puis conceptuelles) tout en présentant les limitations imposées par la technologie à l'implémentation des concepts, en particulier au niveau des fonctions et des phénomènes induits par les choix technologiques. En effet, on conçoit en pratique des solutions en considérant les aspects fonctionnels à mettre en œuvre et à combiner. Ensuite, on évalue les performances en considérant de plus les imperfections de la technologie¹, comme l'hystérésis magnétique, l'inductance des bobinages, le jeu mécanique ou encore la résistance hydraulique des conduites. Les aspects architecturaux sont en général mal documentés dans la bibliographie et parfois quelque peu négligés dans les projets. Ils sont donc traités dans cet ouvrage de façon privilégiée par rapport aux aspects

1. Selon l'application, il est possible qu'un même phénomène physique dans un élément technologique soit exploité pour réaliser une fonction ou bien apparaisse comme une imperfection de la technologie qui vient altérer la performance d'une fonction.

dimensionnement et aux aspects technologiques. Il ne faut cependant pas en déduire que le dimensionnement et la technologie sont peu importants. Bien au contraire, ils sont eux aussi essentiels. Il est en effet très fréquent qu'à une date donnée, ce soit la technologie qui limite l'intérêt industriel d'un concept sous les aspects performance, fiabilité et coût. De même, ce sont la finesse des modèles et la capacité de calcul pour les exploiter qui limitent souvent la réduction des marges de sécurité et l'optimisation de la conception.

Les aspects dimensionnement, modélisation et technologie sont en général bien documentés dans la bibliographie mais la composante architecturale, fonctionnelle et conceptuelle est souvent peu abordée. La difficulté est donc bien de formaliser les architectures et les concepts. Le recours aux modèles mathématiques et à la description de la technologie est seulement employé dans cet ouvrage lorsqu'ils sont nécessaires à la compréhension et au choix. La vision système orientée « architectures » permet de mettre l'accent sur les fonctions à remplir et sur les interdépendances entre les constituants du système. Elle offre un réel potentiel d'amélioration des performances globales en comparaison à la vision orientée « constituant » car l'optimum au niveau système est rarement la somme des optimums pour chaque constituant. En aéronautique commerciale, le développement d'une telle vision est encore rendu difficile par l'organisation des bureaux d'études qui suit souvent le découpage par domaines de l'aéronef, et donc souvent par « métiers ». Ce découpage a été standardisé pour la première fois par l'Air Transport Association il y a plus de 50 ans [A4A 14]. Néanmoins, la vision transversale est de plus en plus favorisée par la mise en place de plateaux, par la valorisation des fonctions d'expert système et par l'émergence de formations initiales en ingénierie système couvrant autant l'aspect puissance que l'aspect signal.

Dans ce premier volume, une place importante est accordée aux actionneurs à puissance hydraulique. Ce choix peut être surprenant à une époque où l'on met en avant les solutions « plus électrique » et même « tout électrique ». Il est justifié par plusieurs considérations importantes :

- la technologie hydraulique est largement employée pour les fonctions d'actionnement sur tous les aéronefs, y compris les plus récents. La durée de vie d'un aéronef commercial est typiquement de 30 ans et sa durée de commercialisation dépasse fréquemment elle aussi les 30 ans. Les nouveaux modèles d'aéronefs des années 2010 devraient donc encore voler en 2070 ;

- la maturation des solutions plus ou tout électrique qui sont évaluées en laboratoire peut prendre plus d'une décennie avant d'atteindre un niveau tel que la nouvelle technologie puisse être mise en service. Par exemple, les actionneurs électrohydrostatiques qui ont été mis en service sur l'Airbus A380 en 2007 ont commencé à être développés dans le milieu des années 1980 ;

– il est important de penser en termes de besoin et de performances plutôt que d’orienter les choix *a priori* vers une solution technologique donnée. De ce point de vue, le plus ou le tout électrique devrait seulement être un moyen, et non pas un objectif ou une finalité, pour rendre des services plus sûrs, plus respectueux de l’environnement, plus économiques et plus rapides² (*safer, greener, cheaper, faster*) ;

– la suppression progressive ou déjà mise en place des enseignements d’hydraulique dans les formations d’ingénieurs conduit quant à elle à une perte de compétences initiales. Ceci plaide en faveur d’un effort de capitalisation de la connaissance qui a tendance à disparaître.

A travers l’accent qui est mis sur la vision système, besoins et architectures, cet ouvrage développe une vision complémentaire des ouvrages existants qui constituent une source d’information importante. On ne peut donc que recommander les ouvrages suivants qui permettent d’élargir le champ couvert par cette série :

- globalement pour tous les systèmes aéronautiques, [CRA 99, DAN 15, MOI 08, ROS 00, SAU 09, WIL 09, WIL 08] ;
- pour les fonctions d’actionnement aéronautique, [RAY 93, SCHM 98] ;
- pour l’hydraulique aéronautique, [GRE 85, JEP 85, NEE 91] ;
- pour l’hydraulique générale, [BLA 60, FAI 81, FAY 91, GUI 92, MAR 80, MER 67, VIE 80].

Le présent volume comporte sept chapitres. Le premier traite des généralités avec un accent particulier sur les besoins et les applications. Le second concerne la fiabilité qui impacte très fortement les choix d’architectures durant les phases très préliminaires du développement. Les chapitres qui suivent sont dédiés aux actionneurs à source de puissance hydraulique. Ils permettent de passer successivement en revue la fonction de vecteur d’énergie réalisée par le fluide hydraulique et son conditionnement, les fonctions de transformation, de dosage et de gestion de la puissance, puis enfin l’intégration des actionneurs et des systèmes hydrauliques.

2. En matière d’aéronautique commerciale, la composante rapidité semble avoir disparu des objectifs majeurs car dans l’état actuel de la technologie, elle impacte très fortement les trois premières composantes.