

Introduction

Le présent ouvrage est le deuxième volume d'une série dédiée aux actionneurs aéronautiques. Le premier volume, *Les actionneurs aéronautiques 1*, est centré sur les besoins d'actionnement en aéronautique, sur la fiabilité et sur les actionneurs à source de puissance hydraulique. Il trouve sa suite logique dans cet ouvrage. *Les actionneurs aéronautiques 2* est en effet consacré à l'évolution vers des aéronefs plus (ou tout) électriques, autant sous l'aspect « signal » que sous l'aspect « puissance ». Le troisième volume de la série, *Les actionneurs aéronautiques 3*, est entièrement dédié à l'analyse détaillée de réalisations récentes. Il s'appuie sur les concepts et solutions génériques qui sont présentés dans les deux premiers volumes.

Les trois premiers chapitres du présent ouvrage concernent le traitement et la transmission des signaux sous forme électrique, ce que l'on désignera par l'appellation générale *Signal-by-Wire* (ou SbW)¹ : l'actionneur reçoit et émet les signaux sous forme électrique. Les chapitres 4 et 5 concernent la composante électrique des actionneurs alimentés en puissance sous forme électrique, que l'on désignera par l'appellation *Power-by-Wire*. Le chapitre 6 est dédié aux actionneurs électro-

1. *Signal-by-Wire* est explicite quant à la composante traitée : on s'intéresse aux signaux. Par contre, l'appellation usuelle *Fly-by-Wire* (ou FbW) pour les commandes de vol électriques est équivoque, car elle n'explique pas si elle concerne les signaux ou la puissance. Elle a été initialement introduite pour indiquer que les actionneurs de commande de vol reçoivent des ordres sous forme électrique et non plus mécanique. Elle est souvent interprétée à tort comme la suppression de l'alimentation à puissance hydraulique au profit d'une alimentation en puissance électrique. Ce manque de clarté concerne aussi le freinage électrique (*Brake-by-Wire*) ou encore l'orientation des trains d'atterrissage (*Steer-by-Wire*). Dans la suite de l'ouvrage, l'appellation *Fly-by-Wire* concernera donc exclusivement la transmission sous forme électrique des ordres à destination des actionneurs de commande de vol (commandes de vol électriques ou CdVE).

hydrostatiques (ou EHA pour *Electro-Hydrostatic Actuator*) et le chapitre 7 aux actionneurs électromécaniques (ou EMA pour *Electro-Mechanical Actuator*).

Comme le premier, ce deuxième volume met l'accent sur les besoins, les architectures (fonctionnelles, conceptuelles et technologiques), sur les avantages et les limitations des solutions technologiques et sur les ordres de grandeur numériques. Il n'est fait appel aux modèles mathématiques et aux détails de la réalisation technologique que lorsqu'ils sont nécessaires à la compréhension des principes. Ce choix permet de se concentrer sur l'analyse ou la synthèse des concepts et sur leur implémentation technologique. Il est par contre clair que la capacité de modélisation mathématique et la connaissance détaillée de la technologie, avec ses imperfections inévitables, restent des composantes majeures du succès pour développer et opérer des produits industriels comme les actionneurs. Comme toujours, les choix d'architectures et d'implémentation sont fortement impactés par la capacité de simulation et par les contraintes induites par la technologie, ce qui produit un effet de bouclage dans la démarche de conception.

On verra dans cet ouvrage que, pour les ingénieurs, la difficulté est sérieusement augmentée pour le passage au plus ou tout électrique, car ce bouclage se combine de façon très marquée avec les nombreux et nouveaux couplages qui apparaissent entre les domaines génériques : mécanique (vibration, tribologie, thermique), traitement du signal (réseaux, interfaces, commande), électrique (électronique de puissance, électromagnétique) et autres fiabilité, interface homme-machine, etc. C'est pourquoi, il est particulièrement important de pouvoir combiner efficacement une approche descendante (du besoin vers les architectures puis vers la solution technologique, ou *top-down*) et une approche montante (des technologies matures vers les solutions architecturales, ou *bottom-up*). On aboutit alors à une approche hybride, ou *middle-out*. La vision « besoins, architectures et concepts » est donc complémentaire de la vision d'expert de domaine pour mettre à profit une démarche transverse, réellement orientée système. Il se trouve que la vision d'expert de domaine est plutôt bien documentée dans les ouvrages scientifiques, à l'opposé de la vision d'architecte ou de systémier. A travers cet ouvrage, c'est donc cette dernière vision que l'on cherche à capitaliser et à documenter pour l'actionnement plus ou tout électrique en aéronautique. Les experts de domaine ne trouveront pas un niveau de détail élevé dans leur spécialité (transmission de signal, électronique de puissance, machines électriques). Par contre, un effort particulier est porté sur la vulgarisation, pour aider le lecteur habitué aux solutions conventionnelles à percevoir les principes et les spécificités du plus ou tout électrique. Comme pour le volume 1, on ne peut que recommander la lecture d'ouvrages qui sont complémentaires de celui-ci, comme par exemple :

- pour l’actionnement plus électrique en aéronautique [RAY 93, SCH 98] ;
- pour les systèmes électriques des avions et l’avionique [COL 11, CRA 08, DAN 15, DUB 13, MOI 08, MOI 13, SPI 14, US 12, WIL 08, WIL 09] ;
- pour l’électronique de puissance et pour les machines électriques [DED 11, GIE 10, GRE 97, LAC 99, RAS 11].

REMARQUES. Si l’on adopte une vision besoins/solutions, il est intéressant de constater que le plus ou tout électrique est souvent présenté comme un objectif² (ou un besoin), alors qu’on devrait plutôt le voir comme un moyen (une solution) permettant d’augmenter le niveau de performance, de réduire les contraintes et de rendre des services nouveaux. En matière d’aéronautique commerciale, le besoin final, celui du passager ou même de la compagnie aérienne, est joliment résumé par quatre qualificatifs : *cheaper* (moins cher), *safer* (plus sûr), *greener* (plus respectueux de l’environnement) et *faster* (plus rapide). Ce dernier qualificatif tend à être oublié ces derniers temps, car dans l’état actuel de la technologie le gain de vitesse impacte encore beaucoup trop négativement les autres qualificatifs.

Cela peut paraître paradoxal, mais l’évolution vers l’actionnement plus ou tout électrique engendre d’énormes besoins de développement et de recherche dans le domaine du génie mécanique au sens large (mécanique du solide, matériaux, vibrations, tribologie, thermique, etc.), ce qui apparaîtra à de nombreuses reprises dans cet ouvrage.

2. Voir un positionnement en termes de marketing.

