

A400M : INNOVATION ET DUALITÉ

«L'A400M n'est pas un Airbus peint en gris.» Malgré certaines ressemblances et de nombreuses technologies issues du savoir-faire civil d'Airbus, notamment au niveau des commandes de vol, l'A400M est un avion de transport militaire polyvalent qui allie la recherche duale aux besoins spécifiques des opérations militaires.

Il n'en reste pas moins que les qualités de manœuvrabilité de l'A400M sont le produit d'un savoir-faire civilo-militaire des équipes d'Airbus. Le civil tire le militaire vers le haut, et le militaire, au travers de ses impératifs opérationnels, permet au civil de progresser. Chaque nouvel avion constitue une brique technologique pour l'avenir. L'A400M ne déroge pas à la règle : il est dual.

Avec la croissance des secteurs civils de très haute technologie, les niches militaires stricto sensu sont de moins en moins importantes. Par nature, l'aéronautique est duale. La détonique de haute précision, la

furtivité, les matériaux, les systèmes hydroélectriques et beaucoup d'autres matières évoluent en permanence sous l'influence de la recherche civile et militaire. Cela fonctionne dans les deux sens. Dans l'A400M, l'insertion de technologies civiles a été réalisée parce qu'elle correspondait aux attentes du client (ergonomie, détails fonctionnels dans le cockpit...). Dans son développement, le site de Toulouse montre qu'Airbus, au travers d'une mutualisation de moyens, notamment pour les essais sur simulateurs, s'est employé à tirer parti au mieux de la dualité. Airbus, comme EADS en général, a des pratiques duales et transversales qui permettent à l'entreprise de jouir d'une relative fluidité technologique. La dualité se révèle être le produit d'organisations et de réseaux propres à chaque entreprise. Airbus, par une gestion fine en ressources humaines de ses cadres, permettant le passage de savoir des anciens vers

les plus jeunes, a su gérer la dualité dans le temps.

Avion de transport européen actuellement commandé à plus de 180 exemplaires, l'A400M a tiré profit de la dualité, afin de se positionner à la fois comme engin de projection tactique et stratégique. L'insertion de composants civils a supposé une évaluation et une spécification nouvelle de ces composants, ainsi que la conception de systèmes d'armes adaptés aux impératifs de ces composants. Ce programme est régi par un contrat passé en 2003 entre l'OCCAr (Organisation conjointe de coopération en matière d'armement) et Airbus Military SL (AMSL). Sa réalisation est le fruit d'un long processus de concertation au terme duquel sept Etats disposeront du même avion de transport militaire à la fois tactique et logistique. Il s'agit de l'Allemagne, de la France, de l'Espagne, de la Grande-Bretagne, de la Turquie, de la Belgique et du Luxembourg.

L'impératif de la mutualisation

Un second exemplaire de l'A400M a décollé en avril 2010 de Séville, en Espagne, dans le cadre de la phase d'essais en vol de cet appareil. Le premier vol de l'appareil, baptisé MSN2, a été d'une durée de 4 h 50. Son prédécesseur, le MSN1, affiche d'ores et déjà 66 h 30 de vol au compteur, une expérience accumulée au cours de quinze vols différents. Le MSN2 est le deuxième des cinq appareils devant participer à la campagne d'essais de 3 700 heures devant précéder les pre-

mières livraisons. Un troisième A400M devrait rejoindre le programme au début de l'été, avant l'arrivée d'un quatrième appareil d'ici la fin de l'année.

Les essais sont suivis en direct depuis une salle des opérations (appelée aussi salle de télémessure) à Toulouse, en duplex avec Séville. Les ingénieurs (toutes les nationalités impliquées dans le programme sont représentées) observent le vol de l'intérieur du cockpit, via une caméra

embarquée, et analysent l'ensemble des données et les remarques du pilote. Des essais sont également réalisés en conditions extrêmes (essai de décrochage de l'appareil...), chaque tentative ayant auparavant été éprouvée grâce aux outils de simulation de Toulouse.

La salle des opérations se compose de trois plateformes composés d'écrans géants et de multiples ordinateurs. Une salle duale qui n'est pas exclusivement réservée à l'A400M. Les essais de

tous les avions d'Airbus sont passés par là, notamment l'A380, et bientôt l'A350. Il est intéressant de constater que chez Boeing et après les tout premiers vols, à l'inverse, les équipes d'ingénieurs suivent davantage les données depuis l'intérieur réel de l'avion que depuis une salle de télémessure.

Au terme des premiers essais, l'A400M a été jugé par le pilote comme "très manœuvrant", l'armée de l'air étant satisfaite des résultats préliminaires.

POINTS À RETENIR

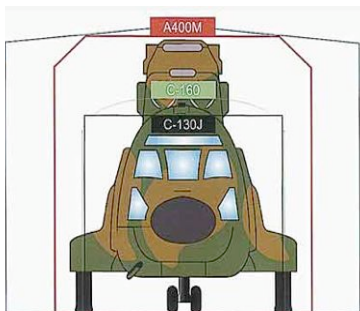
Un moteur innovant

Le moteur de cet avion, le TP 400, difficile à mettre au point, construit par le consortium européen EPI réunissant le britannique Rolls-Royce, le français Snecma (groupe Safran), l'allemand MTU et l'espagnol ITP, est un puissant turbopropulseur. Il constitue, avec ses hélices octopales géantes de plus de 5 mètres de diamètre, un défi technique et industriel qui a profité du savoir-faire civilo-militaire.

Un besoin ancien

En France, la première fiche de caractéristiques militaires approuvée par l'état-major de l'armée de l'air date de septembre 1984. Il s'agissait de rendre les armées françaises capables de projeter en 72 heures, à 5 600 km de distance, 5 000 hommes avec tout leur matériel, hormis les chars lourds, dans des conditions telles que l'atterrissage ou le largage puissent se faire sur des terrains courts et non aménagés, en environnement hostile et avec un minimum de risques.

Comparaison entre l'A400M et la concurrence en terme de taille critique



Un système d'armes complexe

Selon le respect des spécifications exigées par les clients, l'A400M est capable d'effectuer des "posés d'assaut" sur les pistes les plus sommaires avec à son bord un blindé léger. Il est en mesure de transporter des charges très loin, très vite, en empruntant les routes aériennes civiles. Il peut être ravitaillé en vol et être lui-même ravitailleur, en particulier pour les hélicoptères EC 725 Caracal. Enfin, il est parfaitement capable d'évoluer en vol basse altitude en pilotage automatique. Tout cela fait de lui un système d'armes complexe.

C'est un avion quadrimoteur polyvalent via quatre turbopropulseurs de 11 000 CV chacun (plus du double d'un C160 ou d'un C130J). Bénéficiant des synergies de la gamme Airbus, il est construit en grande partie avec des matériaux composites et profite du concept DBE (down between engines) : sur chaque demi-aile, le sens de rotation des hélices des deux moteurs est inversé. Cela permet de réduire le bruit dans la soute, en évitant l'effet dissymétrique du souffle des hélices lorsqu'elles tournent toutes dans le même sens ; ainsi sur l'A400M il n'existe plus de côté nettement plus critique pour la panne d'un moteur externe, ce qui permet de voler moins vite tout en conservant les marges réglementaires de sécurité par rapport à l'anticipation de la panne d'un moteur. La taille de la voilure est proche de celle d'un A310, mais avec des surfaces mobiles dont la taille est proche de l'A340.

L'A400M devrait pouvoir larguer en vol soit une charge unique de 16 tonnes, soit un total de 25 tonnes sous forme de charges multiples. Il est conçu pour pouvoir embarquer un blindé léger, comme le véhicule blindé de combat d'infanterie (VBCI, voir ci-contre), ou un hélicoptère, comme le Tigre ou le NH90, ce qu'actuellement



les C160 Transall et Lockheed C130J sont incapables de faire, et qui est réservé aux avions de transport stratégique, comme le Boeing C-17 Globemaster III, l'Antonov An-124 ou le Lockheed C-5 Galaxy. La soute de l'A400M fait 17,71 m de long, 4 m de large et 3,85 m de haut. Elle permet d'accueillir 9 palettes militaires standard, 116 soldats avec leur équipement, ou encore 66 civières et une équipe médicale. Avec de telles spécifications, l'A400M est loin devant la concurrence, comme le reconnaissent eux-mêmes les industriels américains.

SYNERGIE DES MOYENS D'ESSAIS : "L'IRON BIRD"

La presse internationale s'est beaucoup épanchée sur la réduction relative du nombre des essais en vol des solutions Airbus. Mais, comme dans le cas de l'A380, cet état de fait est dû au rôle accru de "l'Iron Bird" (le banc d'intégration). Il s'agit d'un avion fictif, sans structure ni aménagement intérieur, mais qui regroupe l'ensemble des sorties moteurs (pompes hydrauliques, générateurs électriques...) et des systèmes ; en quelque sorte, une espèce de banc d'essai à l'échelle 1 permettant de monter et de faire fonctionner ensemble tous les équipements. Compte tenu des

technologies véritablement novatrices de plusieurs systèmes, chaque équipement a pu effectuer par avance un premier vol virtuel sur "l'Iron Bird", lui-même piloté par l'un des simulateurs. Au plan de l'aménagement de l'espace, derrière le squelette électrique de l'avion se trouvent tous les systèmes électroniques ainsi que les simulateurs. Les bâtiments qui abritent l'Iron Bird de l'A400M sont les mêmes que ceux qui abritent celui de l'A380 et qui sont préparés pour abriter celui de l'A350. Auparavant, tous les engins étaient passés par de nombreuses étapes de vérification

et de validation, chez l'équipementier, en laboratoire, puis chez Airbus, d'abord seuls en fonction, puis intégrés à leur système. Ce banc d'essai au sol n'a pas empêché de nombreux essais en vol toujours en cours, compte tenu du volume total de l'appareil et du nombre et de la complexité des aménagements et des systèmes permettant d'assurer la sécurité des futurs passagers. Ces vols permettent de tester toutes les facettes de l'ergonomie à bord (en imaginant la situation extrême) et de mesurer les qualités en vol de l'appareil.

"L'Iron Bird" de l'A380 a été répliqué pour l'A400M. L'objectif est de suivre la vie de l'avion jusqu'à son retrait du service actif. La représentation du câblage est exhaustive. Chaque standard est, bien entendu, testé avant son montage. Au moindre souci technique, une solution est étudiée.

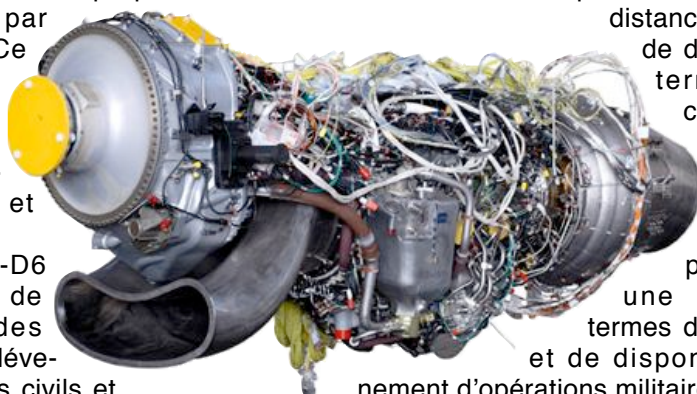
Parmi les moyens de vérification de la conformité de l'avion figurent, outre la partie calcul et analyse réalisée en bureau d'études, de très nombreux essais au sol, effectués avant les vols. Ceux-ci incluent les essais en soufflerie, en laboratoire, les essais spécifiques de la structure comme illustré ci-contre.



LE DÉVELOPPEMENT D'UN MOTEUR DÉDIÉ

Le TP400-D6 est le moteur de l'avion de transport militaire européen A400M. Il est développé par un consortium européen nommé Europrop International (EPI), choisi en mai 2003 par Airbus Military Company. Ce consortium regroupe Industria de Turbo Propulsores (ITP - Espagne), MTU Aero Engines (Allemagne), Rolls-Royce (Grande-Bretagne) et Snecma (France).

Le turbopropulseur TP400-D6 est un moteur triple-corps de 11 000 CV, intégrant des technologies éprouvées et développées sur d'autres moteurs civils et militaires par les quatre partenaires d'EPI. La filiale militaire d'Airbus a opté pour le turbopropulseur pour des raisons de performances et d'économie de



carburant. L'A400M doit en effet pouvoir voler à haute et à basse altitude, à grande et à plus faible vitesse, tout en étant capable d'effectuer des vols longue distance, des manœuvres au sol, de décoller et d'atterrir sur des terrains non aménagés et courts.

La motorisation choisie, quatre turbopropulseurs TP400-D6, entraîne d'immenses hélices à huit pales. Le TP400-D6 établit une nouvelle référence en termes de durée de vie, de fiabilité et de disponibilité dans un environnement d'opérations militaires.

Le moteur, désormais opérationnel, continue de subir des essais en laboratoire et en vol afin de réaliser les derniers réglages.

LES COMMANDES DE VOLS

Comprendre la dualité des systèmes hydroélectriques

Depuis la Caravelle, les systèmes hydrauliques pour manœuvrer les gouvernes se sont généralisés. Dans les avions civils, trois circuits hydrauliques sont, en principe, redondants pour une meilleure sécurité (éviter les pannes en chaîne et créer une indépendance des systèmes). Perdre totalement l'hydraulique signifierait la perte de l'avion.

En pratique, lorsque le pilote agit sur les organes de pilotage d'un avion à commandes de vol hydromécaniques, il déplace le tiroir d'un distributeur qui dirigera la pression du fluide hydraulique d'un côté ou de l'autre du piston d'un vérin dont le mouvement résultant entraînera une gouverne dans un sens ou dans l'autre. Sur un avion à commandes de vol électriques (dites aussi Fly-By-Wire), ce qui est le cas de l'A400M et de tous les programmes Airbus depuis l'A320, lorsque le pilote agit sur les organes de pilotage, ces derniers envoient un signal électrique à des calculateurs qui à leur tour envoient un signal électrique au distributeur des vérins. Le circuit hydraulique reste le même. Les calculateurs reçoivent, outre les ordres du pilote, des signaux



électriques représentatifs de la position desdits vérins, mais aussi de nombreux autres paramètres représentatifs du mouvement de l'avion, et élaborent la commande du distributeur en conséquence. La grande complexité d'un système de commandes de vol mécaniques, avec ses nombreux câbles, poulies, bielles, renvois... est remplacée par des câbles électriques et du logiciel embarqué. Dans ce domaine, l'expérience d'Airbus est grande.

L'A380 est passé à deux systèmes hydrauliques (au lieu de trois sur les avions précédents), afin de gagner en poids mais aussi en «dissimilarité» ou «dissemblance» (créer une indépendance des systèmes pour davantage de robustesse contre les causes communes de perte, donc

davantage de sécurité). Ces derniers fonctionnant à 5 000 psi (350 bars) au lieu de 3 000 psi, comme les autres avions de la gamme. La redondance nécessaire est assurée par des circuits électriques alimentant des actionneurs à puissance électrique (d'où la dissemblance). C'est la tendance... Au plan de l'ergonomie intérieure des commandes de la cabine, un dispositif de pointage informatique (analogue à la souris) fait son apparition sous forme de boule de commande dans les habitacles et permet aux pilotes de construire leur plan de vol en cliquant sur les balises, et de naviguer directement dans les différents menus.

L'A400M se base sur l'architecture de l'A380. Une conception complexe mais sûre.



Six équipes de gestion de composants A400M

- la voilure basée à Filton ;
- le fuselage basé à Brême ;
- la propulsion basée à Madrid ;
- la division systèmes basée à Toulouse ;
- la partie équipement militaire basée à Ulm ;
- l'assemblage final basé à Séville.

Sécurité

Afin de tenir compte de certaines spécifications militaires, le système 2H/2E (hydraulique et électrique) est censé résister à une balle de 12,7 mm, la balle n'ayant aucune chance de détruire en même temps l'hydraulique et l'électrique.

L'A400M reprend beaucoup d'actionneurs électromécaniques de programmes précédents. Deux exemples : pour le spoiler (système de l'A340) ou pour l'aileron en bout de voilure (également repris de l'A340).



INTELLIGENCE ET CALCULATEURS

Au cœur du cockpit

“Un air de famille”

A l'intérieur du cockpit de l'A400M, l'esprit “Airbus” est respecté et un pilote de ligne pourrait s'y retrouver : commandes de vol électriques, mini-manches latéraux et manettes de gaz non “rétromotorisés”, logique de découpage des interfaces hommes-machine en tâches clairement différenciées (piloter, naviguer, gérer les systèmes), concept “split cockpit”, dans lequel les deux pilotes (et un troisième possible à l'arrière) ont accès aux données élaborées indépendamment par les capteurs redondés, écrans banalisés et reconfigurables, à l'exception des deux Ecam au centre de la planche de bord...

Mais dans le détail, tout est différent en raison des spécifications militaires.



Ainsi, au plan de la surface vitrée, l'impression est d'avoir un champ de vision élargi. Le pilote peut notamment observer depuis son poste, en tournant simplement la tête, l'aile et les moteurs. Le largage des parachutistes peut être automatique

(l'ordinateur indique le meilleur moment pour le saut) ou manuel en fonction de la situation.

Le système de visualisation et de commande comprend huit grands écrans à cristaux liquides, contre six dans les systèmes de la génération

précédente, pour l'affichage de toutes les informations nécessaires. C'est la première fois que des écrans interactifs seront utilisés sur un avion de transport militaire.

L'espace a été exploité au maximum des possibilités. A noter l'intégration de l'affichage tête haute (Thales) qui permet au pilote d'observer au loin tout en ayant les informations nécessaires à la conduite de vol (système déjà présent dans les Transall rétrofités).

Les ingénieurs ont beaucoup travaillé sur une meilleure acquisition visuelle. La souris (“trackball”) permet de passer d'un écran à un autre avec une seule main. L'autre main pouvant actionner, par exemple, un système de contre-mesures.

PILOTAGE EN CONDITIONS EXTRÊMES

Et si les systèmes lâchaient ? Et si, en raison de conditions imprévisibles, des pannes apparaissaient ? Si un incendie (la peur de tout pilote) ravageait les systèmes ? Certes, la panne électrique totale n'a, dans l'histoire de l'aéronautique contemporaine, jamais existé. Mais les militaires, dans leurs spécifications, ont demandé à Airbus de trouver une solution, afin de pouvoir continuer à piloter en cas de panne totale électrique. Ce mode de pilotage en “Backup Control” a impliqué pour Airbus la création d'une capacité de maintenir le vol indépendante des circuits électriques normaux de secours.

L'A400M est donc l'un des rares avions au monde à disposer d'une capacité de se poser en module “Backup”. Ce module, sans rentrer dans le détail technique, jouit de sa propre source d'énergie, créée à partir de circuits hydrauliques.

Autre système intéressant : la capacité d'introduire dans les “lois de pilotage” des limites qui permettent au pilote de tirer le maximum de manœuvrabilité de sa machine sans risquer de rencontrer une perte de contrôle de l'avion, comme celle qui peut résulter du décrochage de l'aile. Autre exemple : une inclinaison latérale excessive prolongée entraînerait à terme un piqué vers le sol dont il est difficile de se récupérer ; aussi, sur

l'A400M, cette inclinaison latérale est limitée à plus ou moins 60° par rapport au vol ailes horizontales. Sur les autres avions de la famille Airbus à commandes de vol électriques, cette limite est fixée à plus ou moins 33° ; elle a été portée à 120° sur l'A400M pour en retenir le principe tout en l'adaptant aux conditions particulières d'opération. A cet égard, on se rend compte que la dualité joue dans les deux sens. La recherche spécifique pour répondre aux besoins des militaires au travers de la solution A400M montre que l'avion militaire de transport tire la technologie vers le haut et servira vraisemblablement aux plates-formes futures, militaires et civiles.

LE COMPROMIS ENTRE LA STABILITÉ ET LA MANŒVRABILITÉ

Les "lois de pilotage" s'appuient sur des mesures construites à partir de capteurs, dont les sorties sont filtrées puis couplées à des estimateurs. Derrière les "lois de pilotage" se trouve la physique du vol, l'avion subissant trois types de forces : la poussée du réacteur ou la traction de l'hélice entraînée par le moteur ; le poids, effet de la gravité terrestre sur la masse de l'appareil et les forces aérodynamiques.

La résultante de ces forces aérodynamiques est la portance, créée par le déplacement dans l'air d'une aile profilée, la traînée et la somme des résistances aérodynamiques.

Ce qu'Airbus a recherché dans l'A400M (masse maximale au décollage de 141 tonnes pour une capacité de chargement à 36,6 tonnes), c'est donner de la stabilité à un avion très manœuvrant. Et c'est grâce aux commandes de vol

électriques que l'on peut dépasser cet antagonisme naturel entre stabilité et manœuvrabilité, dont sont victimes tous les avions à commandes de vol traditionnelles. Les "lois de pilotage" envoient automatiquement les ordres aux ailerons, afin d'assurer la mise en virage de l'avion, mais également des ordres à la gouverne de direction, afin de coordonner un virage y compris en situation extrême.



Commentaire d'Edward Strongman, pilote d'essai lors du premier vol : «*Ce premier vol est très concluant : les performances au décollage sont impressionnantes et nous avons exploré une grande partie de l'enveloppe de vol opérationnelle. C'est un plaisir d'opérer dans un poste de pilotage si bien conçu, doté d'une interface très conviviale avec tous les systèmes classiques et militaires. Je suis sûr que les pilotes de nos clients l'apprécieront autant que nous !*»

L'A400M a une structure constituée de matériaux composites. Il aura la capacité d'opérer à partir de pistes courtes et non préparées, grâce à un train de six paires de roues à forte flottation (technique de séparation basée sur des différences d'affinité des matériaux à séparer pour l'eau). Il sera indépendant de toute aide au sol pour le chargement de la soute et le décollage, quelles que soient les conditions météorologiques. L'A400M est prévu pour effectuer des parachutages à basse altitude et à faible vitesse. Il sera convertible en avion ravitailleur en moins de deux heures. Un réservoir de kérosène est chargé dans la soute et deux pods de ravitaillement sont fixés en bout d'ailes. L'ensemble de ces capacités existe notamment grâce à l'exploitation de technologies duales.

L'A400M devrait permettre d'accroître fortement cette capacité de projection tactique, ce qu'attend depuis bien longtemps l'armée de l'air. La France disposerait alors d'une capacité de projection tactique considérable avec le même appareil lui servant également pour le transport stratégique. Une polyvalence nécessaire qui avait été mise en avant par le Livre blanc. Par ailleurs, dans le cas de figure où la configuration du terrain d'arrivée permet à un seul avion d'être au sol à un moment donné, la capacité de projection dépend de deux facteurs : le temps du posé et sa capacité d'emport (une faible capacité d'emport ne pouvant être compensée par un nombre important d'avions). En supposant que le temps de présence au sol soit le même, la capacité de projection permise par une flotte d'A400M serait alors deux fois supérieure à celle permise par une flotte de Lockheed C-130J, lequel dispose d'une capacité d'emport deux fois inférieure.

