



# LE MAGAZINE

## DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

— N° 106 - JUIN 2015 —



# LE RAFALE



**PRÉFACE**  
**JEAN-YVES**  
**LE DRIAN**  
P04



**UN SYSTÈME**  
**D'ARME**  
**BIEN NÉ**  
P16



**MANAGEMENT**  
P66

- Début des études supérieures -  
**VOTRE ENFANT PREND SON ENVOL,  
UNÉO CONTINUE À PRENDRE SOIN DE LUI.**



**Pour vous, la tranquillité assurée. Pour lui, une protection complète.  
Ensemble, choisissez une complémentaire santé adaptée à sa nouvelle vie.**

**Mutuelle  
Référéncée  
Ministère  
De la Défense**

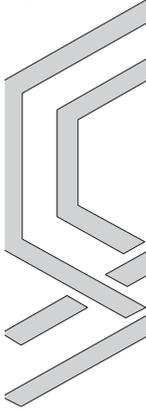
Unéo s'engage pour faciliter l'accès à des soins de qualité pour ses adhérents, tout en maîtrisant leur budget. Votre enfant commence des études supérieures, vous devez obligatoirement l'inscrire à la Sécurité sociale étudiante. Mais pour sa complémentaire santé, c'est vous et lui qui choisissez. Votre enfant peut continuer à être bien protégé par Unéo en **adhérent en son nom**. Avec la garantie Utile, pour un tarif attractif, il bénéficie en plus d'une protection adaptée à sa nouvelle vie, d'un accompagnement avec des services d'assistance à domicile et de la confidentialité des remboursements même si les cotisations restent, si vous le souhaitez, à votre charge. **La protection santé du militaire et de sa famille ne s'improvise pas.**



LA DÉFENSE DE VOTRE SANTÉ



**Pour nous contacter : 0970 809 709\* - [www.groupe-uneo.fr](http://www.groupe-uneo.fr)**



*Des contrats en rafale, pourrait-on dire, en voyant les commandes s'accumuler pour notre avion de combat national. S'y ajoutent des commandes considérables en matière d'hélicoptères, ou de fré gates et corvettes. Ne boudons pas notre satisfaction, cela faisait longtemps que l'industrie française n'avait pas eu de succès aussi visibles à l'export, dans un monde particulièrement difficile et concurrentiel.*

*Et il convient de saluer l'implication personnelle de Jean-Yves Le Drian, ministre de la Défense particulièrement engagé, qui nous fait l'honneur et l'amitié de préfacer ce magazine.*

*A l'occasion du salon international du Bourget 2015, nous avons souhaité présenter cet avion – le meilleur de sa génération – en donnant la parole à quelques représentants institutionnels et industriels ayant pris part à ce programme extrêmement complexe.*

*La place des ingénieurs y est essentielle, pour définir des performances, assurer la cohérence entre systèmes et à l'intérieur de chaque système, gérer les multiples configurations, piloter les projets, assumer les risques techniques... et livrer un produit aux performances optimales.*

*A travers l'exemple du Rafale, se perçoit mieux le rôle des ingénieurs de l'armement et de la DGA qui permet au triptyque opérationnels (Armées), financiers (Bercy), et industriels de prendre et tenir au profit de la nation des paris technologiques et capacitaires de long terme, dépassant souvent le temps politique.*

*La réussite ne doit pas masquer les difficultés et les efforts consentis et à consentir. L'aéronautique, et plus largement les systèmes critiques, sont des domaines extrêmement exigeants, à tous points de vue.*

*L'accident de l'A400M en Espagne, dont l'analyse des causes n'est pas achevée à l'heure où nous mettons sous presse, vient tristement nous le rappeler.*

*L'intérêt des corps d'ingénieurs semble hélas mal perçu lorsqu'on examine les résultats de recrutement à Polytechnique : les grands corps attirent moins d'élèves et ne saturent pas cette année. Perte d'attractivité, de sens, de lisibilité de ce que l'Armement et la fonction publique proposent ou simplement morosité et difficulté à se projeter dans l'avenir ? Le succès du Rafale apporte des réponses éclairantes, susceptibles de susciter un regain d'intérêt pour le métier d'ingénieur, peut-être à mieux faire connaître ?*

Bonne lecture 📖

Jérôme de Dinechin  
Rédacteur en chef



de **Jean-Yves Le Drian**

Ministre de la Défense



**L**a signature récente de deux contrats de vente d'avions Rafale avec l'Égypte et le Qatar, de même que l'annonce simultanée d'une prochaine commande indienne, constituent d'excellentes nouvelles pour notre défense, et l'industrie de défense française en particulier.

Ce succès, tant attendu, est selon moi le résultat logique des efforts réalisés par l'ensemble des acteurs étatiques et industriels ayant contribué à ce projet majeur de l'effort militaire français. Il est le fruit d'une approche respectueuse des clients, qui place aussi chaque partie dans le rôle qui doit être le sien. Du côté industriel, c'est un nouveau succès pour l'avionneur Dassault, mais également pour les nombreux équipementiers et sous-traitants ayant participé à l'élaboration de ce produit d'excellence qu'est le Rafale. Ce numéro donne la parole aux plus importants d'entre eux, mais je dois dire que beaucoup d'autres mériteraient d'être également cités.

Je salue aussi le travail réalisé par la Direction générale de l'armement, qui a suivi et continue de suivre ce programme entamé dès le milieu des années quatre-vingt et poursuivi depuis, malgré des contraintes budgétaires de plus en plus serrées et la sortie de la France de la coopération européenne en matière d'avion d'armes. Cette décision, prise en 1985 pour

*maintenir l'exigence d'une capacité aérienne multi-rôles et navalisable, qui avait été demandée par les armées, fut critiquée en son temps. Elle se révèle aujourd'hui payante.*

*Cette réussite met également en lumière les efforts consentis par l'Etat et l'industrie de défense depuis près de trente ans en matière d'investissement de défense. Elle souligne le caractère visionnaire des innovations mises en place il y a plusieurs décennies lors de la conception de l'appareil. Ces efforts ont permis le développement de technologies-clés aujourd'hui reconnues au niveau international, et dont la contribution à la compétitivité-export du Rafale est considérable. Mieux qu'aucune autre aventure industrielle française, la vente du Rafale à l'export illustre parfaitement l'idée selon laquelle une capacité de défense ne se construit pas en un jour, mais à l'issue d'une longue préparation technologique, industrielle et humaine.*

*J'ajoute que l'exportation du Rafale n'aurait sans doute pu avoir lieu sans l'éclatante démonstration de son efficacité opérationnelle que donnent aujourd'hui nos pilotes de l'Armée de l'air et de la Marine nationale sur les différents théâtres d'opération où la France est engagée. Le Rafale aura ainsi eu l'occasion, en l'espace de quelques années seulement, de démontrer sur*

*le terrain toute l'étendue de la gamme de missions pour laquelle il a été conçu. Quelques grands chefs opérationnels de nos forces en témoignent dans ce numéro. Nul doute que la contribution du Rafale au succès des opérations Harmattan et Serval aura pesé de tout son poids dans la confiance que nous accordent aujourd'hui nos partenaires étrangers.*

*L'exportation du Rafale s'inscrit dans une longue tradition française d'exportation aéronautique commencée il y a plus de cinquante ans par la vente du premier Mirage III. Je me réjouis que cette tradition se perpétue aujourd'hui, tout comme je me réjouis du lancement il y a quelques jours des études préliminaires à la conception d'un drone de surveillance européen.*

*Car si la vente du Rafale reste avant tout une réussite française, je tiens à rappeler néanmoins mon plein attachement à la coopération européenne en matière d'industrie de défense, seule à même de permettre à notre pays de rester une puissance de premier ordre dans un environnement économique et géopolitique toujours plus instable. Seules une plus grande coopération et une meilleure mutualisation de leurs forces permettront aux Européens de garder la maîtrise de leur destin, pour défendre toujours plus efficacement leurs intérêts et leurs valeurs. 🇫🇷*



**Maritime Predator B**

# SAVING LIVES

- Detect, track and identify most vessels including semi-submersible craft
- Illegal drug and immigration interdiction
- Performs long-endurance maritime surveillance and reconnaissance operations
- Wide-area surveillance with a 360° digital multi-mode maritime radar
- Costs a fraction of most comparable alternative systems
- In service with the U.S. Department of Homeland Security



[www.ga-asi.com](http://www.ga-asi.com)

©2015 General Atomics Aeronautical Systems, Inc.

 **GENERAL ATOMICS**  
**AERONAUTICAL**

**Leading the Situational Awareness Revolution**



Rédacteur en chef : Jérôme de Dinechin

Rédacteur en chef délégué :

Patrick Bellouard

Directeur de publication : Philippe Hervé

Comité de rédaction : Arnaud Salomon, Daniel Jouan, Denis Plane, Dominique Luzeaux, Flavien Dupuis, Frédéric Tatout, Jocelyn Escourrou, Louis Le Pivain, Olivier-Pierre Jacquotte

Crédits photo : SIRPA Mer, SIRPA Air, ONERA

Edition et régie publicitaire :

SACOM 01 41 10 84 40,

Ineyret@la-clique.com

Création graphique : La Clique

www.agencesacom.com

CAIA

16 bis, avenue Prieur de la Côte d'Or,

CS 40300 - 94114 ARCUEIL Cedex

Tél. : 01 79 86 55 13

Télécopie : 01 79 86 55 16

Site : www.caia.net

E-mail : contact@caia.net

caia@wanadoo.fr

numéro de dépôt légal : 2265-3066

### 3 Editorial

#### 4 Préface de Jean-Yves Le Drian,

Ministre de la Défense

#### Le Rafale

- 9 Introduction au dossier, par *Patrick Bellouard*
- 10 Le Rafale ou la polyvalence durable, par *Antoine Coursimault*
- 14 Une adaptation facile du Rafale au Charles de Gaulle, par *Xavier Lebacqz*
- 16 Le Rafale, un système d'arme bien né, avec un potentiel de croissance important, par *Guilhem Reboul* et *Marc Howyan*
- 19 Les essais en vol du Rafale, par *Jean-Baptiste Rabilloud*
- 22 Les essais en vol du Rafale vus du cockpit, par *Christophe Bretault*
- 24 Le Rafale : en avance sur son temps, *Eric Trappier*
- 26 Immersion d'un jeune IA au cœur du système, par *Alexandre Constantin*
- 28 Le moteur du Rafale, la performance maîtrisée, par *Stéphane Cueille*
- 30 Le radar RBE 2 à antenne active, par *Pierre Eric Pommellet* et *Bruno Carrara*
- 34 SAGEM, les yeux et les griffes du Rafale, par *Hervé Bouaziz*
- 38 La contribution du missile à la polyvalence du Rafale, par *Olivier Martin*
- 40 Un Rafale, des rafaut !, *Bruno Berthet*
- 42 Le Rafale soumis au vent des souffleries, par *Patrick Wagner*
- 44 Le Rafale dans l'Armée de l'Air : le chasseur omni-rôles en action, par *Hubert Vailong* et *Philippe Suhr*
- 48 Le Rafale marine, un avion « combat proven », par *Bruno Thouvenin* et *Michel Wencker*
- 52 Le Maintien en Condition Opérationnelle (MCO) de la flotte Rafale, par *Patrick Armando*
- 56 Enjeux et défis de la formation des pilotes de chasse, par *Olivier Le Bot*
- 58 Le Rafale en stage OPS, par *Michael de Bellefon*
- 60 L'ISAE-SUPAERO – Un Institut en mouvement, par *Olivier Lesbre*

### 63 Dossier industrie

ATELIERS DE LA HAUTE-GARONNE

Jacquelot PE

66

#### Management

Le leadership par la confiance,  
par *Jérôme de Dinechin*

#### Vie de la CAIA

69

GALA de L'armement 2015

70

Du côté de Polytechnique

71

#### Lu pour vous

- Team Rafale, de Zephyr Editions
- Rafale leader

73

#### Lu au JO

73

#### Carnet Pro

74

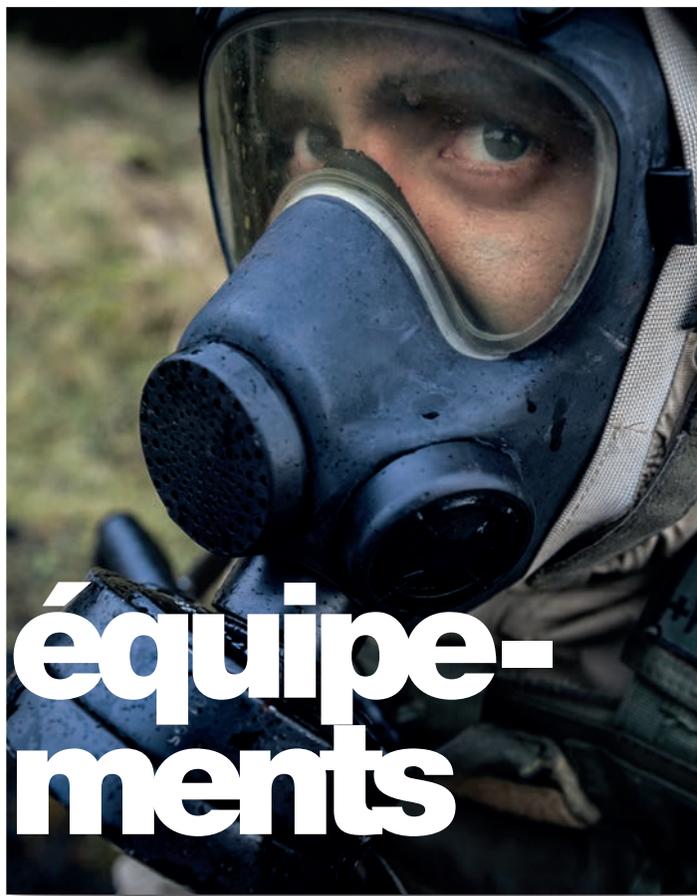
#### Nominations DGA



# systemes



# munitions



# équi-pe- ments

**NEXTER, ACTEUR DE PREMIER PLAN EN EUROPE** et référence majeure dans les systèmes de combat, d'artillerie et de munitions, conçoit des solutions innovantes pour accompagner les armées au cœur de l'action.

Afghanistan, Liban, Mali, Centrafrique, les matériels Nexter, du VBCI au CAESAR® ont prouvé leur fiabilité, leur apport au combat et la protection fournie aux soldats sur le terrain.

**nexTER**

**CRÉATEUR DE NOUVELLES RÉFÉRENCES DE DÉFENSE | [WWW.NEXTER-GROUP.FR](http://WWW.NEXTER-GROUP.FR)**

de **Patrick BELLOUARD**, IGA  
Membre d'EuroDéfense-France



Après 25 ans à la DGA, dont 5 ans comme directeur du Service des programmes aéronautiques, Patrick Bellouard a été chargé de mission du Premier Ministre pour la coordination interministérielle du programme Galileo de 2004 à 2008, puis directeur de l'OCCAR jusqu'en février 2013.

**L**es succès récents du RAFALE à l'exportation consacrent, enfin, pourrait-on ajouter, les efforts menés depuis un certain nombre d'années pour la promotion de cet appareil, mais surtout le travail réalisé par les ingénieurs, ouvriers, pilotes et techniciens français depuis une trentaine d'années pour imaginer, définir, mettre au point et produire l'un des meilleurs systèmes d'armes aériens - voire le meilleur - de sa génération, qui a démontré toute son efficacité opérationnelle et sa supériorité lors de son engagement sur plusieurs théâtres d'opérations depuis quelques années.

Ce dossier consacré au Rafale, qui présente sans aucune prétention d'exhaustivité les contributions à ce programme d'un certain nombre d'acteurs, constitue avant tout un hommage aux femmes et aux hommes, à tous les niveaux, qui ont œuvré pour ce programme et en ont construit le succès reconnu aujourd'hui.

Lorsque l'on croit aux vertus d'une coopération européenne menée dans des conditions efficaces et compétitives, on peut évidemment regretter que la France et ses partenaires européens n'aient pas su s'entendre il y a une trentaine d'années sur la réalisation d'un avion commun, notamment du fait de divergences sur les spécifications et sur les questions industrielles. Néanmoins il faut bien reconnaître d'une part la justesse des choix faits à l'époque par la France en matière de spécifications (notamment la polyvalence et la flexibilité du système), qui permet à la France de disposer aujourd'hui d'un système répondant parfaitement aux besoins des forces armées, d'autre part la compétence des équipes françaises qui ont mené le programme avec rigueur et efficacité, tant du côté étatique que du côté industriel, évitant des dérives de coûts qui n'auraient pu être supportées par la France dans un contexte budgétaire particulièrement contraint (budget de défense globalement en réduction depuis le lancement du programme).

Cela démontre aussi qu'un programme d'une telle complexité se construit sur le long terme, à partir d'études et recherches technologiques qui sont menées bien en amont et qui doivent atteindre un niveau de maturité suffisant avant de pouvoir être mises en œuvre avec un niveau de risque maîtrisé dans le cadre du développement d'un nouveau système.

Le Rafale a de longues années devant lui. La polyvalence et la flexibilité du système lui permettront d'évoluer encore, avec des coûts et des risques maîtrisés, pour répondre aux menaces futures dans les meilleures conditions. Mais l'histoire ne s'arrête pas là et l'on doit dès à présent penser au système (ou au système de systèmes) qui lui succèdera à plus long terme, en continuant à travailler sur les nouvelles technologies qui seront nécessaires et accessibles à cet horizon, mais aussi et surtout en réfléchissant en liaison avec nos partenaires européens aux futures spécifications, car il est peu probable que la France pourra s'offrir seule un tel système à l'avenir compte tenu des contraintes budgétaires : l'expérience montre que la convergence des spécifications et des conditions de la coopération entre partenaires prendra du temps et demandera une bonne dose de confiance réciproque, qui reste à contruire. ☞

# LE RAFALE OU LA POLYVALENCE DURABLE

## UNE LONGUE HISTOIRE ET TOUJOURS D'ACTUALITÉ

Après des études prospectives, les premiers travaux techniques sur le ou les avions de combat devant succéder aux Mirage et Jaguar pour l'Armée de l'air, et aux Crusader et Super-Etendard pour la Marine ont débuté à la DGA en 1978, voilà bientôt 40 ans ! Le Mirage 2000 prototype de défense aérienne venait de faire son premier vol, le Super Etendard arrivait tout juste dans la Marine et l'on pensait déjà à l'avion suivant. Les temps ont bien changé.

### Des Mirage au Rafale

Pour l'Armée de l'air il s'agissait de remplacer d'abord le Jaguar pour la mission air-sol et beaucoup plus tard les Mirage F1 C pour la défense aérienne. Pour la Marine il s'agissait de succéder d'abord aux Crusader vieillissants pour la défense aérienne du groupe aéronaval autour du porte-avions Foch et, beaucoup plus tard pour le Charles-de-Gaulle, aux Super-Etendard qui venaient d'entrer en service sur le Foch et le Clemenceau. **La notion de défense aérienne rapprochée du territoire national qui avait présidé, au fond, à la concep-**

**tion des Mirage s'étendait à celle plus vaste de supériorité aérienne sur des théâtres parfois lointains, et on cherchait des capacités offensives très augmentées par rapport aux générations précédentes.**

La question posée était celle de savoir si, compte tenu de l'expérience acquise et des perspectives technologiques, il était envisageable de développer un couple avion-moteur, et un seul, pour satisfaire l'ensemble des besoins. Le Rafale d'aujourd'hui n'est pas le premier avion au monde à être polyvalent air-marine. Les F4 Phantom et F18 de l'US Navy ont fait une belle carrière en version « air », mais les porte-avions US ont un tonnage double des nôtres. Il y avait eu en France des tentatives infructueuses de navalisation du Jaguar et des avant-projets de Mirage navalisés. Le Mirage III E a été un avion multi-missions pour l'Armée de l'air. Un amiral disait « faites moi un bon avion embarqué, vous en ferez un bon avion pour l'Armée de l'air ; dans l'autre sens, ça ne marche pas ». En nombre d'avions commandés et en capacités de financement pour un développement, le centre de gravité était quand même du côté Armée de l'air. La Marine avait une vraie urgence calendaire, l'Armée de l'air beaucoup moins. Les Mirage 2000 DA et N étaient en développement et une version air - sol conventionnel du Mirage 2000 N pouvait sans problème succéder au Jaguar. Il n'y avait donc pas urgence absolue côté Armée de l'air. Le Super-Etendard entrait en service, mais cet avion ne pouvait pas remplir les missions de supériorité aérienne. Dans un contexte analogue la Marine s'était tour-

née dans le passé vers le Crusader américain. Bien que le Charles de Gaulle ait été la solution nominale pour succéder aux Foch et Clemenceau, certains dans la Marine continuaient à considérer des bâtiments plus petits (12 – 15000 t), pour réduire les coûts, sans brins d'arrêts ni catapulte sur le modèle de la Royal Navy à l'époque et des US Marines encore aujourd'hui, avec des avions V/STOL du type Harrier et dérivés. Cette option a été vite écartée à partir des modélisations, faites au STPA<sup>1</sup>, qui concluaient à l'impossibilité de remplir toutes les missions avec un concept type Harrier, même amélioré, à un horizon prévisible. Les américains l'ont tenté beaucoup plus tard .... avec le JSF F-35 qui est en fait un programme de 3 avions pour l'Air Force, les Marines et l'US Navy avec un tronc commun assez réduit. La version B des Marines à atterrissage vertical a renoncé, comme prévisible, au concept aéro-propulsif du Harrier et a repris la formule très complexe expérimentée en France par le Mirage V « Balzac », et utilisée sur les porte-avions russes avec le Yak 36, avec réacteurs de sustentation dédiés... que les ponts d'envol supportent mal. La conclusion préliminaire a été que, choix judicieux de formule et préparation technologique aidant, l'option d'un même avion conventionnel air et marine pour la France n'était pas irréaliste. La formule delta-canard qui était privilégiée pour ses performances en vol n'était cependant pas la plus facile pour l'embarquement sur porte-avions. Il a fallu beaucoup d'études compliquées, y compris celle d'un mini-tremplin, avant d'aboutir à la



### par Antoine COURSIMAULT, ICA

Dans la DGA, Antoine COURSIMAULT a été notamment ingénieur système d'armes du Mirage 2000 et ingénieur de marque du programme RAFALE pendant la phase de définition du programme. Après avoir été conseiller technique au cabinet du Délégué Général pour l'Armement, il a rejoint THALES en 1990, puis Airbus Group en 2000. Depuis 2009 il exerce une activité de conseil.

1) STPA : Service technique des programmes aéronautiques



Rafale M au catapultage, avec son armement

solution simple, relativement, d'un train avant « sauteur » à restitution d'énergie pour le Rafale Marine. Un choix V/STOL aurait conduit à terme à prendre le JSF. Restait cependant ouverte l'option F 18 si on ne convergeait pas rapidement vers un avion unique avec un tronc commun air-marine suffisant. L'optimisation du tronc commun a fait l'objet d'études précises et le débat, très animé, Rafale Marine contre F-18 fut finalement tranché des années plus tard au plus haut niveau de l'Etat. L'amiral avait raison, l'avion marine était le plus difficile à faire, et il fallait éviter de pénaliser la version air, cœur de programme. En effet, fallait-il dimensionner l'avion de combat français de nouvelle génération pour remplacer un petit nombre de Crusader hors d'âge, pour un porte-avions, le Foch, lui-même en fin de vie, par seulement quelques dizaines au mieux d'avions embarqués ? Certains disaient que le jeu n'en valait pas la chandelle, d'autres que si, quand même, pour ne pas acheter à l'étranger du moment que, cette fois, l'industrie nationale pouvait fournir une solution avec un tronc commun Air - Marine.

### Si toutes les aéronavales d'Europe ...

Le compromis était difficile à trouver car les installations aviation du Foch étaient bien évidemment figées et les objectifs capacitaires de l'avion ambitieux. Le projet Charles de Gaulle offrait encore des possibilités d'évolution, mais limitées par la réutilisation imposée des chaufferies nucléaires K 15 des SNLE. Les performances aérodynamiques du Rafale, sa masse et son architecture sont étroitement liées à ces contraintes. Il se trouve que les contraintes du Foch pour l'avion en mission de défense aérienne et celles du Charles de Gaulle en mission d'assaut à la mer, avec des masses au catapultage et à l'appontage plus élevées, ont été trouvées équivalentes du point de vue des limites de masse à vide de l'avion préservant une capacité d'emport de carburant et d'armements suffisante. Le Foch, dans la mesure où ses Rafale seraient affectés à la supériorité aérienne, n'était donc finalement pas plus contraignant que le Charles de Gaulle plus tard. L'objection de la durée de vie limitée des quelques Crusader et du Foch pour

dimensionner l'avion de combat des décennies à venir tombait.

Ceci explique d'un point de vue technique, hors les nombreux autres aspects, qu'il n'a pas été possible de s'entendre avec nos partenaires européens sur un avion commun car nous étions les seuls à garder des porte-avions conventionnels et vouloir préserver l'option d'une version embarquée très dimensionnante pour la conception de l'avion. Par exemple, la disposition des entrées d'air imposée par le catapultage par le train avant requis de nos jours pour simplifier la mise en œuvre. Ceux de nos ex-partenaires européens qui avaient une aéronavale embarquée sur porte-aéronefs de 12 à 20 000 t sans catapultes, le Royaume-Uni, l'Italie et l'Espagne ont dû ou devront passer au JSF pour succéder à leurs Sea Harrier. Ironie de l'histoire, les britanniques ont évolué depuis vers des porte-avions de 60 – 70 000 t, envisagé tardivement des catapultes en passant du JSF-B V/STOL des Marines au JSF-C catapulté de la Navy, fait mine de s'intéresser au Rafale Marine au passage, ont renoncé à tout cela en gardant *in fine* des navires sans

catapultes avec le JSF-B V/STOL développé pour les Marines. En plus de l'Eurofighter pour la Royal Air Force qui n'est pas navalisable en pratique et n'a rien en commun avec le JSF ... La politique française a été moins heurtée et elle a résisté à l'épreuve du temps.

**Si en ce temps là, en 1985 - 90, il y avait eu une vision franco-britannique commune sur les porte-aéronefs et l'aviation embarquée, la face de l'Europe aurait pu, sur le papier au moins, en être changée.**

### **Un programme minutieusement préparé**

Les compromis cellule - moteur ont été résolument orientés vers les missions air - air car l'expérience passée des Mirage montrait qu'il est facile de transformer un avion de supériorité aérienne en avion air - sol très valable. En revanche, des avions trop optimisés autour de la mission air - sol comme le Jaguar ou le Tornado ne peuvent pas faire de bons « chasseurs ». Autant la partie « systèmes embarqués » peut évoluer au cours du temps, autant la composante cellule est peu évolutive. Le moteur peut évoluer dans certaines limites tant qu'on reste compatible des débits possibles de la manche à air sans refaire le fuselage. Le radar multi-modes du Rafale, quant à lui, passe aujourd'hui aux modules actifs, étape introduite à la fin des années 80 dans les feuilles de route radar.

Depuis le début des années 80 avait été en effet mis en place un plan très complet d'études orientées « avion de combat futur », technologies et sous-ensembles clés, démonstrateurs complets dans tous les domaines : cellule, moteur, équipements, armements et système. L'architecture de l'avionique et les outils de développement ont été conçus pour permettre de qualifier vite des fonctionnalités nouvelles et armements non prévus au départ. Les très nombreuses versions du Mirage 2000, deux versions monoplace de défense aérienne pour la France, la version biplace nucléaire, les différentes versions export, et l'engorgement des moyens de développement qui en a résulté avaient servi de leçon.

Les systèmes tels que l'hydraulique, l'électricité et le conditionnement, etc. et les interfaces homme - machine correspondantes n'ont pas été oubliés. Ces technologies sont aujourd'hui devenues standard dans l'aéronautique civile :

hydraulique à 350 bars, réseau électrique à fréquence variable, numérisation, etc.

On restera « discret » sur la réduction des signatures radar et infrarouge qui a permis de minimiser la vulnérabilité. Le Rafale n'est pas un avion complètement furtif, la versatilité recherchée nécessitant l'emport d'un grand nombre de charges externes, carburant et armements, et la furtivité étant une notion très relative pouvant mener à une véritable escalade technologique.

Ces travaux de pré-développement et d'optimisation d'ensemble ont été pilotés par une équipe étatique s'appuyant sur une équipe industrielle dite de coordination industrielle et dont les principes avaient été éprouvés pour le développement des systèmes embarqués du Mirage 2000. La coordination industrielle a été étendue par rapport au Mirage 2000 pour traiter, dès avant le développement, les problèmes critiques d'intégration et on n'a pas hésité à dupliquer les travaux dans les situations de concurrence pour être assurés de recueillir les meilleures idées.

Fort des expériences précédentes, et progrès techniques aidant, l'avion et ses systèmes ont été conçus **pour être robustes aux évolutions des besoins opérationnels**. Plus que la polyvalence, c'est la « polyvalence durable ». Les bases en ont été jetées au début des années 1980, en pleine Guerre froide, et cet avion fait « le job » sur les théâtres actuels, et plutôt bien, avec des armements non prévus au départ et qualifiés rapidement. **Trente ans après, les fondamentaux de ce système d'armes n'ont pas pris une ride** et le Rafale est continuellement amélioré. Dans les nombreux différends que nous avons eus vers 1985 avec nos amis européens il y avait celui-là : nous pensions d'expérience avec nos camarades de l'Armée de l'air et de la Marine que les besoins opérationnels sont difficiles à prévoir, surtout lorsqu'ils concernent l'avenir ... et qu'il fallait donc éviter une trop grande spécialisation en privilégiant les capacités d'évolution. L'Eurofighter a été calibré et « architecturé » uniquement autour de la défense aérienne du continent européen contre le pacte de Varsovie depuis des bases terrestres. On le voit peu sur les théâtres actuels. Il deviendra plus polyvalent un jour, à n'en pas douter, mais cela prendra du temps et de l'argent.

### **Un programme controversé et pourtant ...**

Le Rafale a soulevé les passions ; on était pour ou on était contre ! Après quelques déceptions il vient de connaître ses premiers succès à l'exportation dans des compétitions très ouvertes, choisi par des pays qui ont des enjeux de défense importants.

Cet avion a des capacités très supérieures à ses prédécesseurs Mirage, mais il est évidemment plus coûteux unitairement. C'est un choix raisonné bien adapté au contexte d'opérations actuel. Ces capacités viennent qualitativement des systèmes embarqués, qui n'ont pas fini d'évoluer, mais quantitativement du couple cellule - moteur qui permet une grande puissance de feu sur des théâtres lointains, en simplifiant beaucoup le problème du ravitaillement en vol, et en revenant le cas échéant se poser sur le « mouchoir de poche » d'un porte-avions ! Pour des coûts de développement qui, pour élevés qu'ils furent, n'ont rien à voir avec les gouffres financiers des programmes étrangers cités dans cet article.

C'est le premier programme d'avion de combat de l'Armée de l'air et de la Marine depuis la seconde guerre mondiale qui ait fait l'objet d'une fiche programme commune constamment mise à jour mais jamais remise en cause et d'une préparation aussi rationnelle. Comme dans les manuels de conduite des programmes d'armement !

Sur ce thème on renvoie le lecteur à l'œuvre collective COMAERO qui relate en détail l'historique mouvementé des programmes aéronautiques français depuis la seconde guerre mondiale dans un contexte pourtant figé de guerre froide : changements fréquents de fiches programmes suivant les priorités opérationnelles du moment, avions expérimentaux et prototypes les plus divers, contraintes financières parfois sous-estimées, hésitations sur la politique moteur, et, *last but not least*, initiatives industrielles pour disposer de produits compétitifs à l'exportation. Une longue période d'apprentissage avant la maturité ?

**Comparativement, le programme Rafale est d'une étonnante stabilité bien que la date du lancement de son développement en 1988 marque le début des bouleversements géostratégiques, ce qui en justifie a posteriori les options de départ.** 🗨

# NOS SATELLITES OUVRENT DE NOUVEAUX HORIZONS

WE BRING A NEW DIMENSION  
TO YOUR HORIZONS



ThalesAlenia  
A Thales / Finmeccanica Company *Space*

[www.thalesaleniaspace.com](http://www.thalesaleniaspace.com)

# UNE ADAPTATION FACILE DU RAFALE AU CHARLES DE GAULLE

On a beaucoup parlé des « mises au point » du PA CDG ; il y a pourtant des choses qui se sont passées sans problème ou presque : c'est, entre autres, l'intégration du Rafale à bord ! **FACILE** ... Si l'on en juge par le peu de difficultés dont les médias se sont fait écho mais un processus de décision, conception, réalisation et d'essais de plus de 15 ans. On pourrait dire que c'est davantage le Rafale qui s'est adapté aux porte-avions que l'inverse ! Un plaisir pour le directeur de programme mais quelques frayeurs et beaucoup d'émotions quand même.

Dès les années 80, le Rafale se met sur les rangs pour devenir le successeur du Crusader sur le porte-avions Charles de Gaulle et, à terme, l'avion polyvalent de l'aéronavale. Mais il n'est encore pas le favori de quelques marins étoilés qui rêvent plutôt du F18C Hornet. Ce n'est qu'à la fin des années 80 que le choix du Rafale est confirmé au plus haut niveau de l'Etat.

Le Rafale dut alors se parer des attributs d'un avion embarqué : une solide crosse d'appontage pour accrocher les « brins d'arrêt », des

câbles d'acier de près de 4 cm de diamètre, un train avant modifié pour permettre le catapultage qui fait passer l'avion de 20 tonnes à 250 km/h sur 75 m, le calage de sa centrale à inertie depuis le porte-avions, des renforts de structure pour encaisser des milliers de chocs à l'appontage et au catapultage et ... une échelle de pilote rétractable ! Ce n'est quand même pas rien sur un avion sophistiqué où la moindre modification doit faire l'objet de qualifications longues, rigoureuses et coûteuses. Ces modifications ont surtout nécessité de nombreux essais. Des vols d'approche du Clemenceau ont permis d'appréhender les paramètres de vol. Plusieurs campagnes d'essais ont été menées dans des centres d'essais aux Etats-Unis, seuls à posséder au sol des installations de catapultage et les brins d'arrêts identiques à ceux des porte-avions américains, et du PA CDG qui les a aussi adoptés. Plusieurs campagnes d'essais ont également eu lieu sur le Foch, sur lequel on avait aménagé un « tremplin » pour faciliter le catapultage. La catapulte du Foch de 50 m était en effet un peu courte alors que celles du PA CGD font 75 m.

de valider les modifications du Rafale pour oser apponter sans état d'âme sur le PA CDG. Mais, lors des premiers étirements des brins d'arrêt sur le pont avec des tracteurs, ces derniers se rapprochaient dangereusement du bord ... Pour faire simple, la raison en était essentiellement un défaut de qualité du liquide hydraulique dont les presses de freins étaient remplies dès l'usine. Ces presses de freins sont situées sous le pont et les brins d'arrêt leur transmettent les efforts de l'appontage. Les mêmes presses équipent aussi les porte-avions US et c'est tout un lot de liquide hydraulique qui fut incriminé, y compris sur certains porte-avions US qui consignèrent certains brins d'arrêt !

Cette péripétie a créé une certaine méfiance de mes homologues directeurs de programmes avions. Malgré des revues techniques et de sécurité très pointilleuses à l'issue desquelles je déclarais « bonnes pour le service » les installations aviation du pont, rien n'y faisait, il n'y avait toujours pas de candidat pour apponter ! J'avais même osé alors interpellé le directeur du service des programmes aéronautiques pour lui dire que lorsqu'il avait été nécessaire de passer le mur du son, il fallait bien y aller avec un avion et que cela était aussi vrai pour apponter sur le PA CDG. Je crois d'ailleurs qu'il est devenu ensuite DGA, mais il m'a pardonné ma passion ...

J'avais donc imaginé un plan B qui consistait à immerger par grands fonds des gueuzes reliées par de grandes longueurs de câble aux brins d'arrêt. Le choc final d'une gueuze aérodynamique qui coule pouvait approcher l'effort réel d'appontage sur le brin d'arrêt. Ceux qui se souviennent du film « Abysse », où une grue de

«... les tracteurs se rapprochaient dangereusement du bord ... »

Pendant que la construction du PA CDG s'achevait, presque 300 appontages et catapultages à terre et sur le Foch avaient permis



par **Xavier LEBACQ**, IGA

■ **PRÉSIDENT DE LA SAS XAVIERLEBACQ CONSEIL**

Xavier Lebacqz a effectué une grande partie de sa carrière à la DGA dans une large palette de métiers, dont celui de directeur de programme du PA CDG. Après avoir supervisé les études du second porte-avions, avorté faute de budget et de coopération des Britanniques, il s'attela au démantèlement du Clémenceau puis de tous les matériels militaires avant de quitter l'administration en 2010.



Sur la photo, autour du Rafale sur le PA CdG : l'amiral Philippe de Gaulle, Jacques Chirac, l'auteur (encore jeune et beau), Serge Dassault, l'amiral Delaunay, Yves Kerhervé, un Rafale et un Super Etendard

surface coule et s'écrase au fond, savent que la vitesse d'immersion peut atteindre en effet jusqu'à 0,9 fois la vitesse de chute dans l'air ! Heureusement pour le commandant qui s'inquiétait légitimement de mon plan B, un arbitrage eut lieu à très haut niveau pour que le premier appontage soit quand même réalisé le 6 juillet 1999 avec un Super Etendard modernisé (SEM) de série piloté par Eric Gérard et le Rafale M02 piloté par Yves Kerhervé apponta le lendemain. Tous deux étaient pilotes d'essais de Dassault Aviation.

C'est le cas de le dire, tout le monde n'était pas sur le pont (pour raison de sécurité), mais sur les moindres recoins de l'îlot pour assister dans un impressionnant silence aux premiers appontages. Des tonnerres d'applaudissements s'en suivirent ! Mais nous n'avions pas fini notre journée. Lors des premiers appontages,

nous avons réalisé que les presses de freins n'avaient pas toutes reçu leurs dernières modifications. Il ne s'agissait certes pas de modifications essentielles à la sécurité, mais cela nous avait plongé dans le doute pour le premier catapultage. Alors que Rafale et SEM étaient donc parés au catapultage sur le pont, nous épluchions encore la documentation pour être certains que les catapultes avaient bien reçu leurs dernières modifications ... Moments intenses !

Les grandes adaptations techniques du porte-avions au Rafale ont été un renforcement de l'isolation acoustique des locaux sous le pont, l'aménagement dans le prolongement du hangar des impressionnants ateliers pour la maintenance du Rafale et notamment la réalisation d'un banc d'essais des moteurs du Rafale. Situé à l'extrême arrière du navire, le banc moteur

en fonctionnement ne procurait hélas que peu de vitesse additionnelle aux 40 000 tonnes du PA CDG, mais il nous contraignit à prévoir une isolation substantielle de la plage arrière pour éviter les émissions sonores et atmosphériques d'un moteur M88 à pleine puissance. Et, faute de place, je ne vous parle pas des études de sécurité pour les chaufferies nucléaires du PA CDG ! Connaître le pouvoir calorifique d'un Rafale qui brûle était nécessaire !

Malgré les essais réalisés précédemment sur le Foch, les efforts encaissés par la structure, les trains d'atterrissage et les pneus du Rafale étaient légèrement différents car PA CDG et Foch ne sont pas identiques. Les experts de Dassault Aviation et de la DGA analysaient tous les paramètres, parfois inquiets, y compris quand il s'agissait d'apporter avec une bombe ou un missile nucléaire par exemple, mais ils étaient toujours finalement rassurés.

Le revêtement de pont du PA CDG, du même type que celui du Foch, était assez agressif à l'état neuf, déjà pour les brins d'arrêts qui s'usaient à grande vitesse. J'avais alors fait procéder à son arasement dans la zone d'appontage avec des « herses ponceuses » tractées inlassablement par des chariots, un peu à la « Mac Giver », pour que les essais en mer puissent se poursuivre ... On changea ensuite la peinture de pont pour y mettre la même que celle des porte-avions US. Retenez que l'une des interfaces la plus délicate à maîtriser entre pneus d'avion et porte-avions est peut-être le coefficient de frottement de la peinture de pont, le « mu » pour les connaisseurs.

Au final donc, vraiment très peu de difficultés car un énorme travail avait été fait en amont par les équipes du Rafale et du porte-avions. Une coopération cordiale, constructive et devenue amicale a permis de régler tous les paramètres lors des essais sur le PA CDG pour qu'il forme un tandem de choc avec le Rafale. Encore bravo à tous ceux qui ont contribué à cette réussite. Je crois qu'on n'est pas loin des 33 000 appontages et catapultages, tous avions confondus, sur le PA CDG ; le couple PA CDG/Rafale, c'est vraiment du solide et nul doute qu'il fêtera un jour ses noces de rubis ! 🍷

# LE RAFALE, UN SYSTÈME D'ARME BIEN NÉ, AVEC UN POTENTIEL DE CROISSANCE IMPORTANT



par **Guilhem REBOUL**, ICA

■ **DIRECTEUR ADJOINT DU PROGRAMME RAFALE EN CHARGE DU DÉVELOPPEMENT**

Guilhem Reboul a débuté sa carrière à DGA/EV en 1999 comme ingénieur d'essais sur le programme Mirage 2000. Après avoir été sous-directeur technique à Istres, il rejoint le programme Rafale en 2010 en tant qu'architecte de cohérence technique Rafale jusqu'en septembre 2012.



par **Marc HOWYAN**, IGA

■ **DIRECTEUR DU PROGRAMME RAFALE**

Marc Howyan a réalisé la majeure partie de sa carrière à la DGA et occupé plusieurs postes sur le programme Rafale avant d'être directeur de programme adjoint en 2006 et désormais directeur du programme depuis 2012.

Le Rafale a été conçu dès l'origine comme un avion polyvalent et évolutif, ce qui a permis de disposer des capacités opérationnelles de façon progressive selon une logique de développement incrémentale : standards SUO/SU1/SU2 à la fin des années 1990, suivis rapidement par les F1/F2/F3 dans la décennie 2000. Compte tenu des choix de conception initiaux faits sur le programme, le Rafale est un avion qui possède toutes les capacités pour s'adapter à un environnement évolutif, dans tous les domaines de l'architecture de la plate-forme, du SNA<sup>1</sup>, des capteurs ou du moteur. L'article fait le point sur les évolutions envisageables et précise comment la démarche d'ingénierie système va aider à leur émergence.

L'architecture fonctionnelle et matérielle du Rafale a été optimisée dès le début du programme afin de satisfaire un spectre de missions particulièrement large, auparavant assuré par une demi-douzaine d'avions spécialisés. La prise en compte dès le début de la conception de l'avion de l'ensemble des exigences a ainsi conduit à développer de façon équilibrée les fonctions macroscopiques nécessaires à un chasseur omni-rôle (ex : fonction « suivi de terrain » pour la pénétration basse altitude, système de guerre électronique intégré et réparti). Cette caractéristique intrinsèque au Rafale lui a permis de s'adapter avec succès aux fortes évolutions du contexte opérationnel depuis 20 ans, et lui confère un excellent potentiel de croissance pour de futurs développements dans la décennie 2020. En attendant des expressions formelles de besoin opérationnel et des choix capacitaires associés au futur standard F4, un rapide tour d'horizon peut être fait afin de dégager les principales orientations techniques concernant l'architecture de la plate-forme, du SNA, des capteurs ou du moteur.

L'architecture de la plateforme restera stable : elle évoluera nécessairement à la marge, compte tenu du juste dimensionnement actuel (la plateforme est reconnue mature et innovante, avec des configurations lourdes) et du potentiel de

croissance des systèmes et capteurs du Rafale. En fonction des missions futures, le développement de nouvelles technologies de souveraineté, par exemple liées à la furtivité pourra s'avérer nécessaire (bords de fuite plus ciblés, antennes conformées, capacité d'emport discrète ...). Néanmoins, il n'y aura pas de besoin de modification lourde et profonde pour introduire par exemple des évolutions structurelles majeures. Par ailleurs, l'architecture des différents réseaux bords (hydraulique, électricité, conditionnement) permet d'envisager l'avenir avec sérénité.

Le système de navigation et d'attaque pourra évoluer pour tenir compte des besoins futurs : les choix de conception d'un SNA intégrant de nombreuses sources d'informations internes ou externes (synthèse tactique avec fusion multi-capteurs, compatibilités fréquentielle et temporelle, liaisons de données tactiques) et de l'avionique modulaire intégrée ont permis non seulement de garantir une grande souplesse d'emploi mais également de prendre en compte des besoins nouveaux tout au long du programme, à travers notamment des évolutions du cœur système. Les choix initiaux d'architecture fonctionnelle et matérielle du Rafale, ainsi que son processus de développement incrémental, lui confèrent des

capacités d'évolution encore très importantes, notamment pour maîtriser la complexité inhérente aux systèmes de combat temps réel. En particulier, l'accroissement de certaines capacités apparaît facilement accessible : augmentation de la maîtrise des effets (précision des armements, réduction des dommages collatéraux), travail accru en réseaux ou contribution à la fonction renseignement/anticipation.

Si l'on veut détailler un peu plus, le potentiel d'évolution s'évalue à court, moyen et long terme compte tenu des cycles de développement des technologies aéronautiques. A ce titre, les conduites de tir constituent un exemple pertinent :

- à court terme (classe 1 an), tout avion doit être capable de s'adapter à un besoin nouveau s'il ne s'écarte pas trop du périmètre de mission : cette activité dite de « suivi en service » s'appuie sur la flexibilité de l'interface homme - système actuelle et consiste en des évolutions ne nécessitant pas de modifier profondément le logiciel du cœur système. De telles implémentations sont possibles sur Rafale car les conduites de tir ont été bien spécifiées et réalisées : par exemple, la conduite de tir air - sol GBU 12 a ainsi été réalisée en urgence opérationnelle en 2007 sur la base des développements air - sol déjà réalisés pour l'intégration de l'armement air - sol modulaire (AASM) ;
- à moyen terme (classe 4 - 5 ans), le système doit avoir la capacité d'intégrer des évolutions fonctionnelles relativement lourdes sans évolution hardware (ou middleware) : il faut non seulement avoir gardé des marges dans le cœur système (bus, calculateur, interfaces ...) mais également avoir un logiciel de grande qualité permettant des évolutions réalisées en continuité avec les développements passés. On touche également à un autre aspect essentiel sur Rafale, à savoir la continuité du travail et le maintien des équipes avec des noyaux durs de compétences critiques : par exemple, la mise au point de la conduite de tir air - air d'un missile nouvelle génération tient compte des travaux passés sur la conduite de tir air - air, bien qu'étant un nouveau développement et non une évolution de cette dernière ;
- à long terme (classe 10 - 15 ans), les services étatiques travaillent à la mise en cohérence des orientations capacitaires et des stratégies de développement technologiques des indus-

triels du secteur. Ces dernières sont connues dans leurs grandes lignes et les premières analyses montrent que le potentiel d'évolution à long terme du Rafale est très fort : par exemple, recours à de futurs calculateurs ou architectures modulaires issus du domaine de l'aéronautique civile.

Les capteurs pourront évoluer pour tenir compte des besoins futurs : contre-mesures électromagnétiques, localisation passive, radar à antenne active ou désignation laser sont des sujets par définition pour lesquels des démarches incrémentales et modulaires ont été mises en place depuis très longtemps, et qui se poursuivront. Nous touchons là encore des technologies de souveraineté et des emplois à forte valeur ajoutée et haute technicité, qui permettront au porteur d'évoluer dans un environnement plus contraint. Prenons l'exemple du radar RBE 2 à antenne active : cet équipement est le fruit de 10 ans d'effort de R&D mais également d'une vision claire des évolutions possibles de ce capteur. D'autres évolutions sont rendues possibles par le potentiel de l'avion et du radar, incluant des composants et des traitements nouveaux le rendant plus performant. Prenons un autre exemple, le domaine de la guerre électronique : l'architecture du SPECTRA<sup>2</sup> et la capacité gestion multi-capteurs de ce système d'autoprotection très bien conçu, nous permet d'envisager des évolutions limitées à certains blocs sans remettre en cause le système complet.

Le moteur possède des performances a priori suffisantes : la plateforme bimoteur est éprouvée - le moteur possède d'excellentes performances et les évaluations faites lors des évaluations export n'ont jamais mis en difficulté l'avion.

## «... perspectives de développement sur plus de 20 ans. »

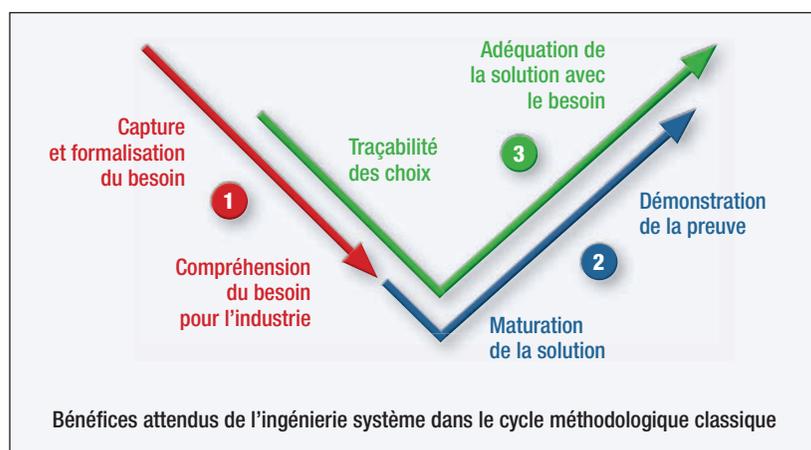
Le Rafale se caractérise donc par son potentiel d'évolution système à court, moyen et long terme, avec des perspectives de développement sur plus de 20 ans.

### Le rôle de l'ingénierie système dans la préparation des évolutions futures

Afin de continuer à maîtriser les développements futurs du Rafale, il est indispensable de tenir compte des changements structurels de l'environnement : évolution de la maîtrise d'œuvre industrielle et de ses méthodes de travail, complexité croissante des problèmes techniques à résoudre, contraintes de ressources sur la maîtrise d'ouvrage DGA ... Cette démarche conduit à renforcer les compétences DGA en matière d'ingénierie système, tout en conservant les acquis de la maîtrise d'ouvrage du programme Rafale en termes de compétences et de méthodes (qualification via dossier de justification de définition, etc.).

Cette démarche d'ingénierie système appliquée au programme Rafale répond à trois objectifs principaux dans le cycle méthodologique de développement (cf. schéma) :

- L'amélioration de la satisfaction du besoin opérationnel : d'une part, via une formalisation par l'Etat de l'expression du besoin (complète et au plus juste des exigences opérationnelles ; selon des spécifications techniques optimales en termes de performances, coûts et risques ;



1) Système de navigation et d'attaque

2) Système de Protection et d'Évitement des Conduites de Tir du Rafale

avec la participation nécessaire de l'industrie) et, d'autre part, via l'assurance, en préalable au lancement du développement, de la compréhension par l'industrie de cette expression de besoin et de l'existence in fine d'une solution issue des spécifications techniques, vérifiable et cohérente des objectifs de performances.

- L'élaboration par l'industrie de la solution la plus pertinente possible, comprise par l'ensemble des acteurs au fil de sa maturation en cours de développement (par un processus itératif de génération / évaluation des données d'ingénierie, permettant de dégager une vision partagée Etat - industrie de l'avancement technique de l'opération et de sa cohérence avec les spécifications techniques) et en fin de développement (par la production par l'industrie des données d'ingénierie nécessaires et suffisantes pour que l'Etat démontre l'adéquation de la solution finale avec le besoin exprimé).

- La traçabilité des choix réalisés (en phase de spécification du besoin par l'Etat ; en phase de réalisation par l'industrie) et de la démonstration de l'adéquation de la solution finale avec ses spécifications techniques.

En phase préparatoire du standard F4, le dispositif de gouvernance se traduit notamment par la mise en place :

- d'un groupe de travail « cohérence et analyse de la valeur » ;
- de groupes de spécification de besoin thématiques classiques, pilotés selon une double approche de type « *maturity gates* » et « feuille de route technologique (TRM) » ;

dont les principes de fonctionnement auront vocation à se prolonger en phase de développement du standard F4.

De façon très concrète, la mise en place de la stratégie d'ingénierie système permettra d'établir entre l'Etat et l'industrie une visibilité

partagée et permanente sur le développement du standard F4, avec en particulier des gains attendus en termes de :

- limitation au strict nécessaire des échanges formels ;
- non duplication de la charge de travail (notamment celle liée à la démonstration de la « rejointe » des spécifications, du respect des exigences de navigabilité et du bon avancement des travaux techniques).

Dans la continuité de la méthodologie « historique » appliquée depuis le standard F2 par le programme Rafale (spécifications de haut niveau décrivant le besoin, dossier de justification de la définition faisant la démonstration de la preuve...), la démarche d'ingénierie système permettra donc de garantir la cohérence des capacités techniques développées, malgré la complexité croissante des objectifs des futurs systèmes de combat aérien, qu'ils soient pilotés ou non. 🗨️

Vous recherchez:  
**UN SYSTÈME SÉCURISÉ**  
RAPIDEMENT DÉPLOYABLE SUR VOS APPLICATIONS



Retrouvez-nous  
au salon SIAE  
Hall 4, Stand B78

Découvrez:  
**COBALT™**  
LA NOUVELLE GÉNÉRATION DE CALCULATEURS COTS  
MODULAIRES, COMPACTS, ÉVOLUTIFS,  
GARANTISSANT LA SÉCURITÉ DE VOS DONNÉES

www.kontron.com  
Tél.: 04 98 16 34 00



# LES ESSAIS EN VOL DU RAFALE

Un vol d'essai se caractérise par l'utilisation de moyens techniques et humains permettant de suivre un scénario précis (l'ordre d'essai) et d'enregistrer voire transmettre en temps réel des données prédéfinies, à des fins d'analyse détaillée pendant et après le vol. Ces moyens spécifiques comprennent notamment des installations embarquées adaptées aux informations recherchées (enregistreurs de bus informatique, capteurs d'efforts, de vibrations ou d'autres grandeurs physiques, caméras, émetteurs télémesure, interfaces avec le système en essai), un contrôle aérien dédié, et des moyens sol (station de réception de télémesure, salle de conduite d'essai, radars de trajectographie, simulateurs interfacés en liaison de données, simulateurs de menaces ou menaces réelles, etc.).

**L**es essais en vol d'un aéronef militaire constituent une étape particulièrement visible et cruciale de son développement, qui est cependant totalement intégrée dans un processus plus global comprenant également, entre autres, de nombreuses simulations (parfois basées sur des données d'essai réels) et essais sur banc, chez les industriels et à la DGA. La cohérence d'ensemble du processus



par **Jean-Baptiste RABILLOUD**, ICA

**ARCHITECTE ESSAIS-  
EXPERTISES-ÉVALUATIONS  
RAFALE À DGA ESSAIS EN VOL**

X99, Supaéro, Jean-Baptiste Rabilloud, a successivement encadré à DGA EV Cazaux les activités d'essais en vol de capteurs électromagnétiques, puis d'armements aéroportés. Il a été nommé en 2013 A3E Rafale à DGA EV Istres, chargé de coordonner l'activité d'essai Rafale au profit de l'UM ACE.



Tir de qualification d'un AASM laser – résultat d'une instrumentation vidéo

se passe notamment par la mise en œuvre de l'ingénierie système.

Une fois l'aéronef ou ses évolutions officiellement qualifiés par la DGA (vérification de l'adéquation au cahier des charges, et de la sécurité d'utilisation), le déploiement dans les

Forces est déclenché, tout d'abord dans les centres d'expérimentation (CEAM<sup>1</sup> pour l'Armée de l'air ; CEP A<sup>2</sup> pour la Marine nationale, STAT<sup>3</sup> pour l'Armée de terre) qui en définissent la doctrine d'emploi, puis dans les escadrons opérationnels.



Kit enregistreur intégré des bus avion, pouvant équiper des Rafale de série

## Essais en vol Rafale – organisation générale et grands développements

Les essais en vol liés au programme Rafale sont réalisés par l'avionneur Dassault Aviation dont le service essais en vol est localisé sur la base aérienne d'Istres, et par DGA Essais en vol (DGA EV) au départ de ses sites d'Istres et de Cazaux. Les autres industriels concourant au programme, au premier rang desquels Thales (capteurs, calculateurs) et Snecma (moteurs), mais aussi MBDA (missiles) et Sa-



Avion banc d'essai d'aujourd'hui (Mystère XX) et de demain (ABE NG - Fokker 100)

gem (centrales inertielles, certains capteurs optroniques, AASM<sup>4</sup>) participent également activement aux phases d'essais en vol de développement, à l'occasion des vols organisés par Dassault et DGA EV. Les essais en vol de développement de la plupart des capteurs (radar RBE 2, optronique secteur frontal OSF, transpondeur - interrogateur IFF, pod de désignation laser, nacelle de reconnaissance RECO NG ...), et de certains armements, sont réalisés par DGA EV pour le compte des industriels, sur des avions banc d'essais (ABE<sup>5</sup>) et parfois sur des Rafale de série, instrumentés pour l'occasion. Dassault est quant à lui responsable de l'organisation et de la réalisation des essais de développement de l'avion de base et de son SNA<sup>6</sup>, et des essais d'intégration des capteurs et armements à l'avion : l'avionneur dispose actuellement pour ces essais d'en moyenne trois avions Rafale instrumentés.

**Pour le programme Rafale, une organisation en équipe intégrée d'essais en vol (EIEV) a été mise en place** dès le standard F1 dans les années 90. L'EIEV regroupe, au sein d'une équipe resserrée, des pilotes et ingénieurs d'essais industriels (Dassault) et étatiques (DGA EV, et centres d'expérimentations : CEAM et CEPA, représentant les clients finaux, Armée de l'air et Marine nationale). Une part des essais en vol de développement et mise au point de Dassault est allouée aux équipages étatiques de l'EIEV, afin de donner à l'Etat une bonne visibilité sur les développements et de garantir l'adéquation des fonctions développées au besoin opérationnel.

Au cours des développements, des campagnes d'essais en vol de constat étatique et de RAU (revue d'aptitude à l'utilisation) sont également

organisées par DGA EV au profit de la direction de programme et des états-majors, afin de mettre à l'épreuve les évolutions de l'avion ou de ses principaux capteurs dans des scénarii les plus proches possibles des missions opérationnelles, en impliquant des unités aériennes (jouant le rôle de patrouilles amies et ennemies) et terrestres (batteries de défense sol - air, contrôleurs avancés ...). Ainsi, dans un passé récent, le nouveau radar RBE 2 AESA (antenne active), mis en service en 2013, et le dernier standard F3-4+ du SNA, en cours de déploiement en 2015, ont fait l'objet d'essais en vol de constat étatique respectivement en 2012 et 2014, après la phase d'essais de développement proprement dite.

Le principe des RAU est similaire, mais ces campagnes interviennent plus tôt. L'objectif d'une RAU est de confronter un état système certes non abouti, mais déjà suffisamment mature, à une utilisation de type opérationnel, en bénéficiant des moyens d'enregistrement et d'analyse propres aux essais en vol. Ainsi, ces phases d'essais sont positionnées de façon suffisamment amont dans le calendrier de développement pour rendre possibles certaines réorientations du développement lorsque les conclusions des essais en démontrent la pertinence. Le nouveau standard F3-R, dont le développement s'étale de 2014 à 2018, doit donner lieu à une RAU par an en moyenne, dont la première a été réalisée en décembre 2014 à DGA EV Istres avec l'implication des intervenants étatiques et industriels de l'EIEV, ainsi que de participants supplémentaires de DGA EV, du CEAM et du CEPA. La participation des centres d'expérimentation à ces campagnes de RAU et de constat étatique permet

par ailleurs d'optimiser la prise de compétence des opérationnels et l'enchaînement entre les essais de développement et les campagnes d'expérimentations opérationnelles.

### Soutien aux Forces

DGA EV réalise également des essais en vol pour le Rafale dans des cadres plus ponctuels que les grands développements, généralement dans un contexte de soutien aux opérationnels, par exemple pour les opérations extérieures (OPEX). Caractérisation de l'efficacité de séquences de leurrage (en coopération avec DGA Maîtrise de l'information et l'EPIGE<sup>7</sup>), adaptation et vérification de bon fonctionnement de nouveaux armements, perfectionnement de certains domaines de tir de bombes, vols d'emport et tirs de munitions ayant subi des cycles de vieillissement accéléré, expertises et essais sur des faits techniques ... La liste est longue.

DGA EV intervient par ailleurs en soutien de certaines expérimentations Rafale du CEAM et du CEPA, en fournissant par exemple des moyens sol de guerre optronique et électronique.

### Essais de réception

Le tableau des essais en vol ne serait pas complet sans évoquer les essais de réception. Le processus de réception permet de vérifier, pour un Rafale neuf sortant des chaînes de Dassault à Bordeaux Mérignac, la sécurité de l'avion, sa qualité de fabrication, et les performances de ses systèmes, avant livraison aux Forces. Ce processus est effectué en deux temps pour les avions livrés à l'Armée de l'air et à la Marine, avec l'implication du SQ (service de la qualité de la DGA) tout au long de



Salle d'écoute et de suivi d'essais

la chaîne de fabrication jusqu'aux opérations de réception. Dassault effectue tout d'abord un essai « rouleur », en fait une accélération - arrêt sur piste, puis deux vols de mise au point de l'avion et de ses systèmes, qui peuvent déboucher sur des premières retouches. Ensuite, l'avion est présenté à l'équipe de réception DGA EV, qui réalise également deux vols d'essais, pouvant amener d'autres remarques et retouches. DGA EV émet un avis favorable à la réception, qui permet finalement à la direction de programme d'officialiser la livraison de l'avion.

**Les essais en vol constituent le moment de vérité pour un nouvel aéronave militaire ou ses évolutions. Ils concernent toutes les phases de son existence, du développement au suivi en service en passant par la livraison des avions neufs, et jusqu'à l'adaptation réactive en réponse à de nouveaux besoins OPEX. L'expérience montre que si la simulation et des travaux de dé-**

**veloppement menés selon les préceptes d'ingénierie système aident à réduire la durée des phases d'essais en vol, celles-ci restent indispensables pour finaliser la mise au point d'un appareil.**

**Dans le cas du Rafale, le travail en équipe intégrée pendant les phases d'essais en vol a démontré son efficacité, permettant la livraison en temps et en heure des dif-**

**férents standards de l'aéronave. Si le Rafale est aujourd'hui un aéronave dont l'efficacité et la polyvalence sont mondialement reconnues, c'est aussi grâce à l'organisation particulière mise en place pour ses essais en vol, et à l'engagement et au professionnalisme des équipes d'essais aussi bien étatiques qu'industrielles.** 🗨

### Les essais en vol de développement du standard F3-R

- décembre 2013 : notification du contrat F3-R par la DGA aux industriels
- 450 vols d'essai de développement F3-R prévus chez Dassault
- 120 vols sur avions bancs d'essai étatiques de DGA EV (M 2000 B, Mystère XX et Fokker 100 ABE NG) pour le développement des nouvelles fonctions du radar RBE2 et du transpondeur - interrogateur IFF prévues pour F3-R
- 130 vols sur Mirage 2000 D banc d'essai instrumenté de DGA EV pour le développement du pod de désignation laser nouvelle génération (PDL NG) TALIOS
- 300 vols d'aéronefs plastrons organisés par DGA EV au profit des vols d'essais F3-R menés par Dassault
- 5 tirs de missiles Meteor sous Rafale
- octobre 2018 : qualification prévue du standard F3-R

1) CEAM : Centre d'Expériences Aériennes Militaires

2) CEPA : Centre d'expérimentations pratiques et de réception de l'aéronautique navale

3) STAT : Section Technique de l'Armée de Terre

4) AASM : Armement Air - Sol Modulaire

5) ABE : un aéronave banc d'essais est un aéronave fortement modifié et instrumenté, dédié à la réalisation de vols d'essais. Dans le cas du programme Rafale, il peut s'agir de M2000 ou de Mystère XX qui permettent de réaliser la mise au point d'équipements en avance de phase avant intégration sur Rafale. L'ABE NG (Fokker 100) sera utilisé par DGA EV à partir de fin 2015 notamment pour des essais du programme Rafale.

6) SNA : Système de Navigation et d'Attaque

7) EPIGE : Escadron de Programmation et d'Instruction en Guerre Electronique



Fin d'essai, tous les avions rentrent à la base © DGA EV (V. Ricco / G. Grasset / G. Grasset)

# LES ESSAIS EN VOL DU RAFALE VUS DU COCKPIT



par **Christophe  
BRETAULT, IA**

■ **RESPONSABLE TECHNIQUE  
ESSAIS EXPERTISE À DGA  
ESSAIS EN VOL**

X05 Supaéro, pilote des corps techniques, Christophe Bretault est responsable technique d'essais à DGA Essais en Vol depuis 2010. Après avoir été responsable de plusieurs campagnes d'essais sur l'hélicoptère EC665 Tigre et une formation d'ingénieur navigant d'essais à l'École du Personnel Navigant d'Essais et Réception à Istres, il participe, à la DGA, au développement et à la qualification du Rafale.

Les essais en vol ont pour objectif de mettre à l'épreuve les nouveaux matériels et fonctionnalités. Pour réaliser ces « premières fois », les aéronefs à tester sont mis en œuvre par des professionnels dont le but est d'appréhender des situations nouvelles en recherchant la sécurité et l'efficacité de l'essai. Embarquement immédiat pour le premier vol d'essai sur Rafale d'un jeune ingénieur navigant d'essai.

**S**ur le parking avions de DGA Essais en Vol site d'Istres, un Rafale m'attend pour un vol de la première campagne de RAU<sup>1</sup> du dernier standard en développement, dit F3-R. Ce sera mon premier vol d'essai depuis ma formation d'ingénieur navigant, une année à apprendre comment évaluer les performances systèmes et avions, du Mirage 2000 au PC7 en passant par l'A320.

Le pilote fait le tour de l'appareil pour en vérifier le bon état. De mon côté, je m'installe en place arrière, lance l'alignement des centrales inertielles et prends une minute pour repenser au vol qui nous attend. Une patrouille de deux Rafale biplaces au standard F3-R, indicatif Azur Lima, évoluera face à un Rafale au standard F3-3', actuellement déployé dans les forces, et un Mirage 2000-5 pour évaluer la conduite de tir du missile

METEOR. Nous sommes équipier de la patrouille F3-R. L'ordre d'essai prévoit des passes de tir calibrées conçues pour pousser le système à ses limites et qu'il s'agit de réaliser au plus juste, des tests fonctionnels sur la liaison de données L16 et un simulacre de combat aérien.

Une fois sanglés à nos sièges, nous mettons les moteurs en route, procédons aux tests prévol et roulons vers la piste. Nous rejoignons le leader de la patrouille au point d'arrêt. Sur le siège avant, le pilote d'essai effectue le briefing décollage en rappelant la séquence attendue et les conduites à tenir en cas de panne. Dernière vérification de la cabine, nos sièges éjectables sont armés, pas d'alarme. Nous nous alignons en patrouille sur la large piste d'Istres à côté du leader. La tour nous donne le feu vert : « Azur Lima, clear for takeoff ». Pieds sur les freins, les mo-

1) RAU : Revue d'Aptitude à l'Utilisation (cf l'article sur les essais en vol du Rafale)

teurs de nos deux Rafale montent en puissance, les paramètres sont stables. Je peux voir l'équipage de l'autre avion se caler dans le siège avant qu'il ne s'élançe dans un grondement rauque et s'envole. Quelques secondes plus tard, c'est à notre tour. Le pilote lâche les freins, l'avion accélère, de plus en plus vite. Je suis collé au siège sous l'effet de la poussée des deux M88 qui nous propulsent à pleine puissance, postcombustions enclenchées. L'accélération est conforme à la prévision, nous pouvons poursuivre le décollage. La vitesse de rotation arrive. En une traction sur le mini-manche, le pilote lève le nez de l'appareil qui s'envole. Le train d'atterrissage est rentré et nous montons rapidement vers notre leader qui apparaît sur l'écran de situation tactique grâce à la liaison 16. En patrouille, à 10m de l'autre avion, nous sommes guidés par les contrôleurs d'essais vers notre zone de travail.

## L'essai

Le responsable d'essai en salle d'écoute briefe la passe de tir à venir à l'ensemble du dispositif. Dans l'avion, nous nous rappelons les tâches et paramétrons le système d'arme. Alors que le pilote exécute les différentes manœuvres, je dois en superviser le bon déroulement de manière à en assurer la conformité par rapport à l'ordre d'essai et dans le même temps observer la conduite de tir pour en détecter les éventuels dysfonctionnements. S'ensuivent plusieurs passes évaluant les possibilités offertes par la conduite de tir du Meteor. Le pilote me fait part de ses remarques à chaud qu'il faut consigner et ordonner en vue du débriefing qui aura lieu aussitôt que le vol sera terminé. La difficulté est alors d'extraire les événements réellement importants, avec un maximum d'éléments de contexte qui permettront d'identifier les éventuelles sources

des gênes perçues et les axes d'améliorations. Il faut alors faire parler le pilote et stimuler sa réflexion pour recueillir un compte-rendu circonstancié au-delà du premier avis subjectif, tout en préparant le prochain point d'essai.

Une fois les passes analytiques réalisées, nous passons aux passes opérationnelles de combat BVR (Beyond Visual Range), pour lequel le Meteor est un atout capacitaire. Les passes opérationnelles sont destinées à évaluer le matériel dans sa globalité en générant une charge de travail réaliste qui peut mettre en évidence des défauts à corriger. Seules des conditions d'essai aussi proches que possibles de la réalité permettent d'optimiser le système en vue de son utilisation opérationnelle. Un scénario réaliste a d'ailleurs été posé : notre objectif est d'empêcher une patrouille ennemie, constituée du troisième Rafale et du Mirage 2000, de pénétrer une zone située derrière nous. Le temps de resserrer le harnais du siège, nous nous organisons en hippodromes défensifs et attendons « l'ennemi » qui ne tardera pas. La liaison 16 nous permet de partager la situation tactique de notre leader et le système de guerre électronique SPECTRA nous renseigne en complément de notre radar. Sur nos écrans s'affichent alors les plots de la patrouille adverse. S'ensuit une danse à quatre avions, où il faut mener l'adversaire dans nos domaines de tir ou le contraindre à faire demi-tour hors de la portée de nos armes, tout en évitant de se faire leurrer et déborder par l'ennemi. Aux performances du matériel s'ajoute la capacité offerte au pilote de se représenter une situation tactique claire qui lui permettra de prendre la bonne décision. Il s'agit donc d'évaluer l'aisance qu'a le pilote à réaliser sa mission et recueillir ses impressions alors que je suis sanglé à un siège qui joue l'essoreuse, alternant les virages à 5g, les courtes phases

stabilisées destinées à menacer l'adversaire et les changements brusques d'altitudes destinés à le surprendre.

A bord, les avantages du Rafale sur les appareils de la génération précédente sont indéniables. Les différents écrans tactiles présentent à l'équipage de manière organisée et synthétique l'état des différents systèmes et capteurs. Le collimateur tête moyenne affiche une situation tactique d'une grande lisibilité, qui ne demande pas au pilote de dégrader sa vision de loin pour rechercher une information tactique en cockpit. Les poignées manche et gaz, placées de part et d'autres du siège et les nombreuses commandes qui les recouvrent réduisent les mouvements de bras du pilote et lui permettent de contrôler l'ensemble des systèmes nécessaires au combat air-air comme air-sol. A l'image de ces exemples, le Rafale démontre son adéquation aux missions qui lui sont dévolues.

## Fin d'essai, le débriefing

Après une vingtaine de minutes soumis à ce régime et de nombreux missiles tirés en mode entraînement, le leader arrête le combat et ordonne le retour à la base. A peine avons-nous le temps de descendre de l'appareil et de décharger les enregistrements qui serviront au rejeu et à l'analyse en détail du vol que nous nous apprêtons déjà à débriefer. Il s'agit de détailler les résultats essentiels qui serviront aux bureaux d'études industriels qui ont développé les modifications évaluées. Il est donc nécessaire d'être convaincant et juste face à la douzaine d'experts industriels présents quant au bienfondé des critiques formulées qui seront l'impulsion initiale du processus d'amélioration.

Au-delà du vol d'essai, partie émergée de l'iceberg, l'ingénieur navigant d'essai doit également concevoir, préparer et analyser minutieusement ses essais, argumenter et tracer ses prises de positions mais également conseiller, par son expertise de première main, les choix pris sur le programme. Professionnalisme, adaptabilité, connaissances scientifiques et aéronautiques, aussi bien théoriques que pratiques, et une bonne dose d'honnêteté intellectuelle et d'humilité sont autant de qualités qui lui sont nécessaires, notamment sur un programme aussi vaste, varié et exigeant que le Rafale. Ces caractéristiques sont également celles des Ingénieurs de l'Armement et il semble logique qu'ils contribuent à la phase cruciale du déroulement des programmes aéronautiques d'armement que sont les essais en vol. 🐼



Depuis l'avion leader : « Azur Lima, clear for takeoff » © DGA EV (V. Ricco / G. Grasset / G. Grasset)



Les Rafale de l'Armée de l'Air Française en opérations extérieures (Opération Serval) - Vue en vol au dessus du Mali. Equipés de la nacelle Damoclès et de GBU-12. A. Jeuland © Armée de l'air

# LE RAFALE : EN AVANCE SUR SON TEMPS



par **Eric TRAPPIER**

■ **PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL DE DASSAULT AVIATION**

Eric Trappier est président-directeur général de Dassault Aviation depuis 2013. Il y a effectué toute sa carrière : bureau d'études, direction technique internationale et direction générale internationale où il a négocié des contrats export Mirage et Rafale.

Le premier contrat Rafale export, signé en février 2015 avec l'Égypte, a suscité un enthousiasme notable, dans les médias et dans l'opinion, pour un programme qui se révèle exemplaire.

**L**ongtemps, le Rafale a souffert de nombreux clichés : trop franco - français, trop sophistiqué, trop cher, inexportable ... Ces critiques ont été émises dès le lancement du programme. Elles ont été reprises à l'envi par des médias pas toujours au fait du dossier. Mais, depuis que le Rafale a fait ses preuves en opération et à l'export, les clichés font enfin place aux faits. Et ce n'est que justice.

## Trop franco - français ?

Pour ses contempteurs, c'est le « péché originel » du Rafale : la France aurait préféré faire son avion seule plutôt que de s'associer au programme Eurofighter réunissant le Royaume-Uni, l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne. La raison de ce choix est pourtant claire : au milieu des années 1980, nos voisins envisageaient un chasseur assez lourd, spécialisé dans les missions air - air et non destiné à opérer depuis un porte-avions ; la France souhaitait un avion de combat plus léger,

capable d'effectuer tous les types de mission et d'équiper l'armée de l'Air aussi bien que l'Aéronavale. L'incompatibilité des cahiers des charges fut constatée formellement par les gouvernements concernés en 1985. Depuis, les faits démontrent le bien fondé de l'approche française :

- Afghanistan, Libye, Mali, Irak : le Rafale est intervenu sur tous les théâtres d'opérations majeurs ces dernières années. Il a fait la démonstration éclatante de sa polyvalence, en remplissant toutes les missions dévolues à l'aviation de combat : défense et supériorité aérienne, appui rapproché, frappe air - sol longue distance, lutte antinavires, reconnaissance, ravitaillement en vol de chasseur à chasseur. Le tout depuis une base au sol ou depuis un porte-avions, et avec une disponibilité opérationnelle exemplaire ;
- l'Eurofighter, quant à lui, n'est pas intervenu en Afghanistan et en Irak. En Libye, il a effectué des missions limitées. Plus lourd que le Rafale, conçu

pour l'air - air, dépourvu de capacités air - mer, reconnaissance ou nucléaire, il ne devrait être équipé d'un radar à antenne active et de réelles fonctionnalités air - sol qu'à la fin de la décennie. Quant à sa navalisation, elle semble bien peu envisageable. Des capacités restreintes, donc, obligeant le Royaume-Uni et l'Italie à se doter de F-35 américains censés réaliser ce que l'Eurofighter ne sait pas faire ;

- un F-35, d'ailleurs destiné essentiellement aux missions air - sol, qui n'est toujours pas opérationnel en raison de l'accumulation de nombreux problèmes. Un appareil dont les coûts ont explosé. Les Pays-Bas prévoyaient d'acquérir 85 F-35 il y a une dizaine d'années. A budget constant, ils sont aujourd'hui contraints de plafonner leur achat à 37 appareils dont ils estiment la consommation de carburant 60 % supérieure à celle du F-16, les obligeant à mettre en œuvre des moyens accrus de ravitaillement en vol ;
- totalement français, le Rafale offre une pleine souveraineté au Président de la République et une précieuse polyvalence aux armées.

### Trop sophistiqué ?

La polyvalence impose la sophistication. Dans une cellule optimisée dotée de commandes de vol numériques ultra-performantes, le Rafale embarque des systèmes très avancés comme son puissant radar à antenne active (le premier en Europe), sa suite d'autoprotection Spectra, ou encore sa fusion de données multi-capteurs.

Outre son intérêt opérationnel, cette sophistication permettra aux forces françaises de passer d'environ 700 avions de combat de sept types différents dans les années 1980 à 225 à l'horizon 2030.

Par ailleurs, la sophistication a un fort impact industriel : les technologies du Rafale innervent les 500 entreprises du programme et tirent ainsi l'économie française vers le haut. Exemples de re-

tombées pour l'aéronautique civile et l'industrie en général : filière numérique (logiciels CATIA et ses dérivés), commandes de vol, matériaux spéciaux et composites, codes de calculs aérodynamiques, acoustiques, infrarouges et électromagnétiques, simulation, intelligence artificielle, transmission de données, pyrotechnie.

### Trop cher ?

De toute évidence, un avion sophistiqué, réalisé par un seul pays, devrait coûter beaucoup plus cher qu'un avion moins complet dont les coûts de développement sont partagés par plusieurs nations et/ou dont les séries sont plus allongées. Pourtant, les audits des cours des comptes britannique et allemande démontrent que le Rafale a coûté 60 % moins cher à la France que l'Eurofighter à la Grande-Bretagne ou à l'Allemagne. En 20 ans, le budget de l'avion « dit européen » a dérapé de 75 % contre moins de 5 % pour son concurrent français. En cause : absence de leadership, spécifications multiples, doublons industriels et mauvaise répartition des compétences.

Par rapport au F-15 et au F-18 américains, le Rafale se situe à des niveaux de prix équivalents, malgré un effet série défavorable. L'avion français a cependant longtemps été désavantagé par la parité Euro/Dollar. Le Gripen suédois est un appareil plus léger, monomoteur et beaucoup moins performant comme l'a démontré l'évaluation de l'armée de l'air Suisse. Quant aux avions russes, les comparaisons sont impossibles car les prix sont fixés directement par Moscou en fonction de considérations purement politiques.

Enfin, il faut prendre en compte l'extraordinaire rationalisation permise par le Rafale qui remplacera à terme 7 types d'avions à lui seul : une flotte aérienne composée uniquement du Rafale, polyvalent, est évidemment moins coûteuse à mettre en œuvre qu'une flotte où cohabitent plusieurs

### Le Rafale remplace sept types d'avion

Depuis que le Rafale a commencé à être livré à la France, au début des années 2000, ont pu être mis à la retraite : le Crusader (chasse embarquée, entrée en service : 1964), le Mirage IV (dissuasion nucléaire et reconnaissance stratégique, 1964), le Jaguar (attaque au sol, 1973) et le Mirage F-1 (appui tactique et reconnaissance, 1973). Restent pour finaliser la transition avec le Rafale : le Super-Étendard (attaque à la mer, 1979) et les versions D/N (attaque au sol / dissuasion nucléaire) et -5/C (défense aérienne) du Mirage 2000 (1984).

modèles d'aéronefs spécialisés. La formation, la documentation, les pièces de rechange, l'outillage, les infrastructures, les armements et emports : tout est simplifié avec le Rafale.

### Inexportable ?

Jusqu'à la signature du contrat avec l'Égypte (février 2015), le Rafale était considéré par une partie de la presse comme « un échec à l'export » ... En raison des étalements budgétaires (les dividendes de la paix !), la mise en service du Rafale dans l'armée de l'Air française n'est pas intervenue en 1996, comme prévu initialement, mais en 2006. La crédibilité du Rafale à l'export est donc récente. Si l'on ajoute à ce facteur celui de la dimension très géopolitique des ventes d'armements et celui de la surévaluation de l'euro entre 2004 et 2014, on comprend mieux la difficulté de l'exercice, même si le chasseur de Dassault Aviation a toujours été classé premier dans les évaluations technico-opérationnelles où il a été présenté.

Aujourd'hui, la conjoncture devient favorable au Rafale qui a fait ses preuves au combat ; le dollar remonte sensiblement face à l'euro ; et surtout les équilibres géopolitiques mondiaux se modifient, notamment au Moyen-Orient et en Asie. La décision du gouvernement indien d'acheter 36 Rafale en urgence est une preuve supplémentaire de ces changements.

Avec les Opex et, plus encore, avec le contrat égyptien, l'image du Rafale a changé. Il faut s'en réjouir. L'appareil apparaît de plus en plus pour ce qu'il est : une réussite française industrielle et opérationnelle ainsi qu'une source de fierté nationale. En somme, le Rafale était sans doute un peu trop en avance sur son temps. 🐦



*Saint-Cloud, le 23 janvier 2014 - Le Rafale a effectué avec succès ses premiers vols d'essais dans une nouvelle configuration très lourdement armée, comprenant 6 missiles air-sol de précision AASM Hammer, 4 missiles air-air moyenne et longue portée de la famille MICA, 2 missiles Meteor très longue portée ainsi que 3 réservoirs de 2 000 litres. Ces travaux préliminaires, financés sur fonds propres de Dassault Aviation et qui aboutiront à une ouverture complète du domaine de vol, sont le fruit d'une collaboration avec la Direction Générale de l'Armement.  
© Dassault Aviation - V. Almansa*

# IMMERSION D'UN JEUNE IA AU CŒUR DU SYSTÈME DU RAFALE

Depuis quelques années, la DGA encourage les jeunes officiers du corps de l'armement à s'immerger dans le monde industriel dès leur premier poste par le biais de conventions d'affectation temporaire. Ce dispositif est gagnant pour les trois parties : il permet à l'IA d'approfondir ses compétences techniques et d'appréhender le fonctionnement interne de l'entreprise, à la DGA et à l'entreprise de faciliter leurs relations au retour de l'IA grâce à la connaissance concrète que celui-ci a acquise des métiers et des contraintes de l'industriel.

## Motivations de mon choix et ambiance de travail

À l'issue de ma formation aux États-Unis (MSc au MIT orienté robotique et contrôle des systèmes autonomes), j'avais à cœur de participer aux étapes de conception et de développement d'un programme aéronautique. La possibilité de découvrir les arcanes du monde industriel me semblait également pertinente dans la perspective de mon retour à la DGA. J'ai donc saisi sans hésiter cette opportunité de rejoindre Dassault Aviation, en septembre dernier, au sein du département «Dynamique du Vol» (DT Systèmes), pour travailler notamment sur le programme Rafale.

Les activités militaires de l'entreprise sont très liées aux Pouvoirs Publics et la DGA en est l'un des principaux clients. Cet état de fait pouvait me laisser présager un léger climat de méfiance... Il n'en est rien. Je me sens au contraire pleinement intégré au sein des équipes, pouvant interagir dans une atmosphère de confiance et de respect mutuels.



par **Alexandre  
CONSTANTIN, IA**

**INGÉNIEUR QUALITÉ DE VOL  
CHEZ DASSAULT AVIATION**  
*(en affectation temporaire)*



Cabine du simulateur Rafale

## Une expérience enrichissante

Le cœur du métier des commandes de vol consiste à développer un avion le plus performant et transparent possible pour que les pilotes aient pleine confiance pour effectuer leurs missions dans les meilleures conditions. Dans ce cadre, ma hiérarchie me propose de travailler sur des études variées d'une durée assez courte, ce qui me permet d'acquérir rapidement un bon aperçu du panel d'activités liées au système. Ce métier étant intrinsèquement lié à d'autres composantes du programme telles que les structures, l'aérodynamique, la gestion des emports ou encore les essais en vol, ces études me permettent également d'appréhender les interactions avec les autres secteurs de l'entreprise.

En quelques mois seulement, j'ai pu ainsi interagir avec la Direction de la Sécurité des Vols (anciens pilotes de l'armée) sur des questions de procédure de pilotage et j'ai participé à la validation, au simulateur, du Système de Commandes de Vol (SCV) qui équipera le prochain standard F3-R, en testant les nouvelles fonctions comme l'AGCAS (Automatic Ground Collision Avoidance System). J'ai aussi participé aux réflexions sur les améliorations

de performances pour un standard ultérieur. C'est là tout l'intérêt du SCV du Rafale qui autorise une grande évolutivité avec l'ajout possible de nouvelles fonctions pour rester au top depuis le premier vol du Rafale A en 1986. Par ailleurs, j'ai également travaillé sur le système anémométrique discret du Neuron, démonstrateur dont l'expérience acquise servira au programme FCAS. **Cette première expérience au sein du monde industriel, même s'il est encore trop tôt pour en dresser un bilan, se révèle d'ores et déjà très enrichissante. D'un point de vue intellectuel, la conception d'un système complexe comme le Rafale avec ses capacités d'avion multirôle est une activité particulièrement stimulante. D'un point de vue plus organisationnel, ces premiers mois m'ont permis d'acquérir une bonne vision de l'élaboration d'un nouveau standard, de la conception aux essais en vol en passant par la validation au simulateur, tout en m'imprégnant par la même occasion des réalités du fonctionnement de l'entreprise pour la conduite d'un projet complexe qui s'étale sur des dizaines d'années.**

# Rafale is made in France... WE TOO !



Since many years, AQUITAINE ELECTRONIQUE is a privileged partner of DASSAULT, for the Rafale program...

*We are in charge of engineering, production and maintenance of embedded electronic boxes, on the Rafale aircraft.*



## AERONAUTICS & DEFENSE



Studies & Engineering

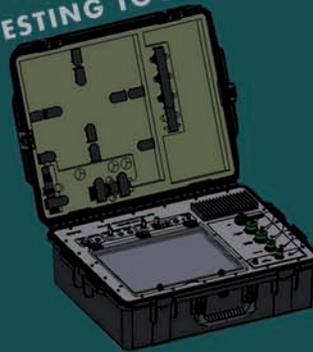
Research & Development

Production & Industrialization

Maintenance & Repair

FIELD OF EXPERTISE

TESTING TOOLS



AUTOMATION



COMPUTING

INDUSTRIAL

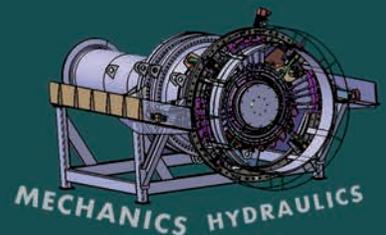
ELECTRICAL HARNESSES



TEST BENCHES

REALIZATIONS

ELECTRONIC CARDS



MECHANICS HYDRAULICS

QUALITY



**PART 21G**  
DGAC  
manufacture of aircraft embedded systems

**PART 145**  
DGAC  
maintenance and repair of aircraft embedded systems

**FAR 145**  
FAA  
in progress



aquitaine électronique  
connectons vos performances

**Phone** +33 (0) 5.59.33.55.00

**Fax** +33 (0) 5.59.33.55.10

[contact@aquitaine-electronique.fr](mailto:contact@aquitaine-electronique.fr)

# LE MOTEUR DU RAFALE, LA PERFORMANCE MAÎTRISÉE

On attend d'un moteur d'avion de combat avant tout de la performance, mais le moteur M88 du Rafale, concentré de technologies, innove aussi sur la maintenabilité et a fait l'objet d'une amélioration continue de son coût de possession. C'est le fruit d'une collaboration exemplaire entre l'industrie, la DGA et les forces armées.

**U**n de mes grands souvenirs d'ingénieur de l'armement est d'avoir, lorsque j'avais trente ans et que j'étais architecte M88 à la DGA, arpenté le pont du Charles de Gaulle et senti, littéralement dans ma chair, la vibration lancinante des deux moteurs du Rafale. Une sensation de puissance tout aussi marquante que lorsque le pilote déchaîne, en présentation en vol, les 15 tonnes de poussée rugissante des deux moteurs en post-combustion !



par **Stéphane CUEILLE**,  
ICA

■ **DIRECTEUR DE SAFRAN TECH,  
CENTRE DE R&T DU GROUPE  
SAFRAN**

Après trois ans en R&T chez Snecma dans le cadre de l'« immersion dans l'industrie », Stéphane Cueille (X91, docteur en Physique statistique) a passé sept ans à la DGA. Il a ensuite dirigé l'activité industrielle aubes de turbine de Snecma et la filiale britannique d'Aircelle, et est, depuis janvier 2015, en charge du nouveau centre de R&T Safran Tech.



*L'intégration du moteur dans le Rafale permet un accès très simple et un temps record de pose - dépose.*

Puissance, compacité, rapport poussée sur masse, c'était avant tout le défi de la motorisation pour Snecma et la DGA au lancement du programme. Il s'agissait de répondre aux besoins d'un avion ambitieux, poussant la polyvalence à un niveau jamais imaginé (et jamais égalé) et de développer un moteur au meilleur niveau mondial.

## Un concentré de technologies

Par rapport au moteur M53 du Mirage 2000, le saut technologique était majeur : un moteur double corps, une régulation complètement numérique, des aubes de turbine en alliage monocristallin, des disques aubagés monoblocs dans le compresseur, des nouveaux alliages en métallurgie des poudres, un canal

flux froid en composite « tiède », des volets extérieurs de tuyère en composite à matrice céramique (la première application au monde en aéronautique), un nouveau concept de réchauffe... Ces technologies avaient fait l'objet d'études amont depuis la fin des années 1970 pour certaines, mais le passage à l'application industrielle n'en représentait pas moins un saut considérable.

Un des sauts technologiques les plus importants a concerné les aubes de turbine. Il s'agit des ailettes du rotor de l'étage de turbine situé directement derrière la chambre de combustion. Pour faire simple, il s'agit d'une « éolienne » qui entraîne le compresseur - situé en amont du moteur - grâce à l'énergie de l'air comprimé et réchauffé qui se détend en met-



Le moteur Snecma M88-4E du Rafale à la sortie de sa chaîne d'assemblage. On remarquera la position des équipements en partie inférieure. Elle a été optimisée pour permettre de les remplacer sans déposer le moteur de l'avion.

tant en mouvement la turbine. L'augmentation de la température d'entrée dans la turbine est un - sinon le - paramètre primordial ayant permis aux moteurs d'avion de combat de gagner en compacité et en rapport poussée sur masse de manière spectaculaire. A titre d'exemple, le M88 est plus petit que le seul canal de post-combustion du moteur ATAR 9K50 du Mirage F1 alors qu'il a une poussée supérieure ! La température d'entrée turbine sur le Rafale est de près de 1 600 °C, 1 200 °C sur le Mirage 2000 et seulement 900 °C sur Mirage F1. Cependant, cette augmentation pose un défi majeur pour la tenue des aubes de turbine. Ces aubes sont soumises à des efforts centrifuges énormes : chaque ailette de 10 cm de haut est soumise à une force centrifuge de l'ordre de 15 tonnes qui tend à l'étirer et l'arracher, et ce dans un air à 1 600 °C. Il faut donc des matériaux extraordinaires : des superalliages monocristallins à base nickel. Dans ces matériaux, pour améliorer la résistance en fluage, on supprime tous les joints de grain : pour ce faire la pièce entière doit être constituée d'un seul cristal d'alliage - un peu comme un diamant. On peut obtenir cela grâce à un procédé sophistiqué de fonderie.

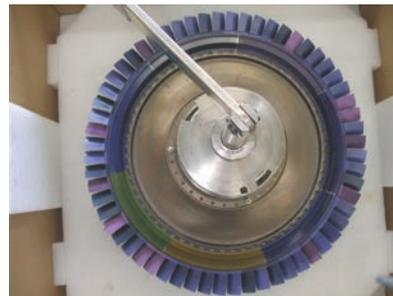
Mais où cela se complique encore, c'est que ces alliages ont une température acceptable de fonctionnement limitée, de l'ordre de 1 100 °C. Il faut donc que les pièces soient refroidies - par de l'air à 600 °C, considéré comme tiède par un motoriste ! Elles sont donc creusées avec des canaux complexes de refroidissement, des micro-perçages permettant

de générer des films d'air frais en surface. Et comme cela ne suffit encore pas, elles sont recouvertes d'une « barrière thermique » - couche de céramique isolante micro-texturée obtenue par un procédé complexe ! Seuls les motoristes majeurs maîtrisent ces technologies et leur bonne combinaison grâce auxquelles le Rafale peut jouer dans la cour des grands.

### Un souci permanent de maintenabilité et de coût de possession

Sur un avion, le moteur est le principal poste de maintenance, aussi l'innovation a-t-elle porté dès le départ sur le concept de maintenance : grande accessibilité du moteur et des équipements dans l'avion, modularité, mais aussi un concept très innovant « zéro aire de point fixe » qui permet de remettre en service un moteur après maintenance sans aucun essai de mise à feu, sur banc ou sur avion au sol ... Des éléments essentiels pour le client et qui constituent un des atouts du Rafale au-delà de sa performance opérationnelle. Pour la première fois, l'Armée de l'air opère un moteur sans le moindre banc d'essai, ni dans les forces ni au SIAé. Une économie substantielle et une grande flexibilité opérationnelle en termes de projection.

Au-delà de ces choix structurants sur le concept de maintenance, l'effort a été porté dès le départ sur l'amélioration permanente de la durée de vie des parties chaudes et sur l'augmentation des intervalles d'inspec-



Roue de turbine HP

tion des pièces critiques à limite de vie (les disques de turbine et de compresseur), pour améliorer la disponibilité et réduire le coût de maintenance, un enjeu essentiel pour le client. Ainsi, sur près de quinze ans, la DGA et Snecma ont conduit ensemble une série de démonstrateurs : TOP, PHT, TOP+, THEO, ECO, permettant de tester et démontrer des améliorations technologiques des aubes de turbine, qui ont permis une succession d'évolutions incrémentales du moteur, se caractérisant à chaque fois par une amélioration de plusieurs centaines d'heures de la durée de vie des aubes, jusqu'à la dernière version M88-4E (dite pack CGP pour coût global de possession) qui permet d'atteindre une durée de vie de 4 000 TACs (tactical air cycles) contre 2 500 TACs pour la version précédente. J'ai eu la chance de participer en tant que client et puis industriel à des étapes importantes de cette aventure et je suis personnellement fier de ce que nous avons accompli, et qui contribue à faire du Rafale un succès opérationnel. 🐼



par **Pierre Eric POMMELLET**, ICA

■ **DIRECTEUR GÉNÉRAL, DIVISION SYSTÈMES DE MISSION DE DÉFENSE, THALES**

Polytechnicien, diplômé de Sup Aero et du MIT, Pierre Eric Pommellet a débuté à la DGA avant de devenir chef de Cabinet de Jean-Pierre Raffarin, Ministre du commerce de 1995 à 1997 et de rejoindre Thales où, après avoir occupé différentes fonctions, il est, depuis 2009, Directeur Général de la Division des Systèmes de Mission de Défense.



par **Bruno CARRARA**

■ **DIRECTEUR DES ACTIVITÉS AVIONS DE COMBAT, DIVISION SYSTÈMES DE MISSION DE DÉFENSE THALES**

Entré dans le groupe Thales en 1981, il a pris en charge en 2000 les activités de radars aéroportés, et en particulier le développement du radar RBE 2 AESA. En 2005, il a été chargé des activités optroniques aéroportées, avant d'être responsable en 2010 des activités Avions de Combat.

# LE RADAR RBE 2 À ANTENNE ACTIVE

## ATOUT MAJEUR DU RAFALE À L'EXPORT

A partir de la quatrième tranche de production de l'avion pour le marché français, le radar du Rafale est équipé de l'antenne à balayage électronique actif appelée AESA - *Active Electronically Scanned Array* -. Cette technologie révolutionnaire développée par Thales permet d'améliorer considérablement les performances notamment dans les modes de détection. Elle laisse aussi entrevoir un fort potentiel d'évolution qui intéresse au plus haut point les clients à l'export d'autant plus que très peu d'industriels au niveau mondial disposent de ce savoir-faire exceptionnel.

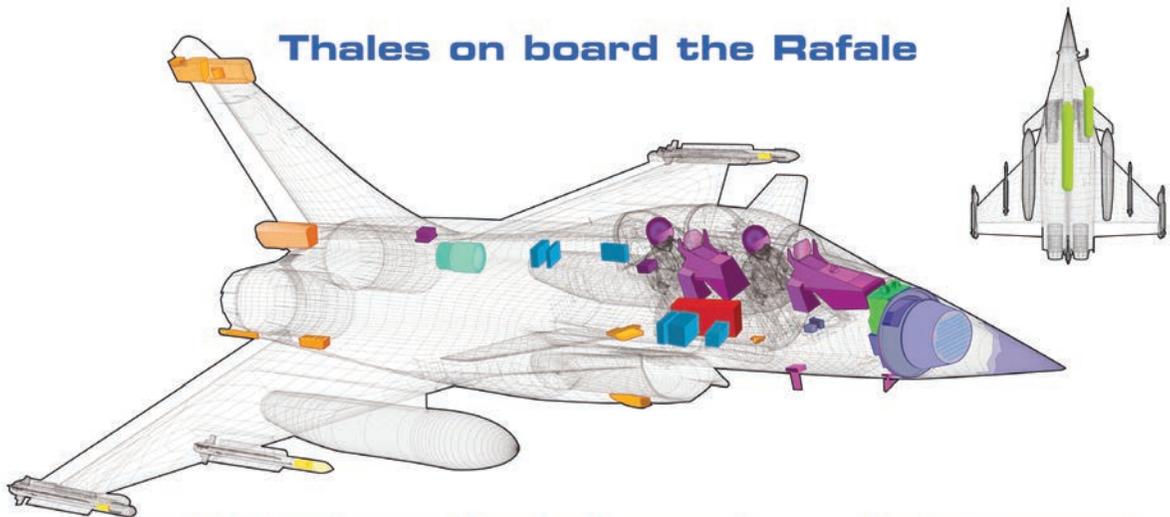


Le radar RBE 2 AESA à bord du Rafale - Eric Raz © Thales

Les avions des générations précédentes sont dotés pour détecter leurs cibles de radars dans lesquels l'onde à rayonner en direction des cibles recherchées est amplifiée dans un émetteur de puissance, puis dirigée dans la direction voulue par un déplacement mécanique de l'antenne. A l'inverse le Rafale est équipé d'un radar à antenne fixe dont le faisceau est commandé électroniquement. Le faisceau peut chan-

ger instantanément de direction, ce qui permet notamment de rendre indépendante la fonction « recherche » de la fonction « pistage » et de traiter un grand nombre de cibles quelles que soient leur localisations. Plus généralement, l'agilité de déplacement du faisceau radar permet la mise en œuvre simultanée de fonctions qui nécessitent chacune des types d'équipements dédiés dans le cas de radars à balayage mécanique.

## Thales on board the Rafale



Weapons	Electronic Warfare SPECTRA	Electrical System	Communication Navigation Identification	System Computer	Cockpit	Optronic Sensors and Pods	RBE2 Radar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Missile seekers</li> <li>• Proximity fuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EM Detectors</li> <li>• Laser Warning</li> <li>• IR Warning (MBDA)</li> <li>• AESA Jammers</li> <li>• Chaff/Flares dispensers (MBDA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrical Power                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generation</li> <li>• Conversion</li> </ul> </li> <li>• Electrical Flight Control System                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• AC generators</li> <li>• Inverters</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V-UHF Radios</li> <li>• Tactical Data Link (L16): MIDS-LVT</li> <li>• Radio-Altimeter</li> <li>• Multi Mode Receiver (MMR)</li> <li>• IFF-CIT</li> <li>• INS/GPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EMTI / MDPU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avionics</li> <li>• LCD multi-function Display</li> <li>• Head-up / Head level display</li> <li>• TopOwl-F (HMDS)</li> <li>• Data storage memory</li> <li>• Probes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Front Sector Optonics</li> <li>• Damocles targeting pod</li> <li>• Recce NG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radar</li> <li>• IFF antenna</li> <li>• Radome</li> </ul>

Thales à bord du Rafale - ©Thales

### De l'antenne à balayage électronique passif à l'antenne à balayage électronique actif

Les premières générations de radars à balayage électronique ont utilisé des antennes de technologie dite « passive » (*Passive Electronically Scanned Array*, PESA). Dans cette architecture, comme dans un radar classique, un émetteur produit l'onde électromagnétique de forte puissance qui est ensuite orientée dans la direction voulue par une lentille électronique. La rapidité du dispositif électronique élimine le délai de changement de direction induit par le mouvement mécanique de l'antenne. Néanmoins, l'orientation du faisceau dans l'espace étant réalisée en aval de la génération de puissance, les pertes ohmiques liées au dispositif de déphasage électronique impactent l'efficacité énergétique du radar.

L'antenne à balayage électronique actif repose sur un panneau composé de plusieurs centaines de modules actifs. L'application des déphasages appropriés à l'intérieur de chaque module oriente virtuellement le faisceau de l'antenne dans la direction désirée, avant que le signal à transmettre ne soit amplifié au sein des différents modules par des amplificateurs à état solide, et rayonné dans l'atmosphère. La localisation des étages d'amplification au sein même de l'antenne supprime l'impact des pertes ohmiques et a conduit

au qualificatif « active » attribué à cette nouvelle génération. Ce principe garantit une augmentation des distances de détection des cibles, une fiabilité très haute par l'emploi d'étages d'amplification à état solide répartis sur un grand nombre de modules indépendants, une souplesse accrue dans les stratégies de recherche et de pistage des cibles, ainsi que la capacité de mettre en œuvre de multiples fonctions simultanées. Elle nécessite toutefois la maîtrise d'un ensemble de technologies très spécifiques.

### Le RBE 2 AESA, fruit d'une longue expérience radar chez THALES

Après avoir développé depuis le début des années 80 les radars à balayage mécanique équipant les différentes versions du Mirage 2000, Thales s'est lancé, avec le soutien de la Direction générale de l'armement (DGA), dans les travaux d'étude et de développement du radar à balayage électronique RBE 2 qui équipa au début des années 2000 le standard F1 de l'avion Rafale déployé dans l'aéronavale, puis les Rafale aux standards F2 et F3 aujourd'hui en service. En parallèle au développement du RBE 2 PESA, Thales investit sur les nouvelles technologies nécessaires pour doter le RBE 2 d'une antenne active. Le premier vol sur Rafale du radar RBE 2 équipé d'un démonstrateur d'antenne active a lieu en 2002 et, après des travaux amont de

levée de risque, la DGA lance fin 2006 le développement et l'industrialisation du RBE 2 AESA destiné à équiper la 4<sup>e</sup> tranche de production du Rafale. Ce développement a mobilisé plusieurs centaines d'ingénieurs de différentes spécialités allant de la conception de composants hyperfréquences au traitement de signal temps réel, en passant par les bureaux d'étude capables de maîtriser les technologies d'intégration mécanique et thermique de haute densité imposées par l'environnement contraint de l'avion de combat. Grâce à une collaboration étroite de Thales avec les meilleures entreprises technologiques européennes (plus de 100 PME travaillent pour la fabrication du RBE 2), l'antenne active du RBE 2 est entièrement assemblée à partir de composants européens.

Le premier RBE 2 AESA de série a été livré pour l'intégration à l'avion par Dassault Aviation en 2011. La livraison des premiers Rafale équipés intervient en 2012 au CEAM, puis dans les Forces à partir de 2013.

Grâce aux efforts conjoints de THALES, de la DGA et de Dassault Aviation, le Rafale devient alors le premier avion de combat européen équipé d'un radar à antenne active, avec des performances du meilleur niveau mondial qui confèrent au système d'armes du Rafale une efficacité inégalée. L'obtention du contrat Rafale Egypte et les perspectives d'autres contrats à l'export vont



Test du RBE 2 AESA en chambre anéchoïque, site Thales à Elancourt - © Yves Kervel - I3M ©Thales

permettre à THALES et à l'ensemble de ses sous-traitants de conserver cette avance technologique, d'investir pour rester au meilleur niveau de compétitivité et de préparer ainsi les enjeux futurs de l'électronique aéronautique militaire.

### L'avenir du RBE 2 se prépare dès aujourd'hui

Les évolutions futures du radar devront satisfaire les besoins opérationnels toujours croissants en termes de menaces traitées ou de règles d'engagements toujours plus strictes (identification positive des cibles, maîtrise des dégâts collatéraux ...). A plus long terme, l'introduction de nouvelles technologies encore plus com-

pactes permettra d'adjoindre de nouveaux panneaux d'antennes à différents emplacements sur l'avion et de repenser l'ensemble des capacités de détection embarquées. Ces nouvelles technologies permettront de fédérer des capteurs ou

équipements aujourd'hui dédiés et de réaliser des fonctions dépassant le radar, telles que la guerre électronique ou les communications, pour passer d'un radar polyvalent à une suite de senseurs multifonction intégrée.

### THALES À BORD DU RAFALE Un concentré de hautes technologies

Les équipements de Thales fournissent aux équipages du Rafale les capacités de perception, d'analyse et de représentation de leur environnement, indispensables à la réalisation des missions qui leur sont confiées :

- le RBE 2 AESA (radar à balayage électronique 2 plans), premier radar d'avion de combat européen à antenne active ;
- le système d'autoprotection SPECTRA en co-traitance avec MBDA. A noter que le Rafale est le premier avion au monde équipé d'un système d'autoprotection aussi complet, ne mettant en œuvre que des technologies à état solide et sans emport extérieur à la cellule avion ;
- les systèmes électro-optiques tels que l'OSF (optronique secteur frontal) ainsi que les pods de reconnaissance AREOS ou de désignation laser Damocles ou Talios ;
- la suite de communication, navigation et d'identification ;
- l' EMTI, Equipement Modulaire de Traitement de l'Information ;
- la majeure partie des systèmes d'affichage présents dans le cockpit ;
- les autodirecteurs de missiles et les fusées de proximité ;
- les systèmes de génération électriques.

**ATEQ**  
We test, You fly.

**TESTEUR PITOT STATIC ADSE 650**

**TESTEUR DE BATTERIES EEST 5060 COMPACT**

**MILLIONMMÈTRE D'ATELIER AX 6000**

**ADAPTATEURS PS/PT**

ateq.fr



# Et si votre **crédit** vous **rapportait** de **l'argent** ?

**80% des prêts immobiliers présente des irrégularités,** pouvant donner lieu à négociation ou à remboursement.

**C'est le fameux « T.E.G erroné »**

Grâce à notre analyse de votre dossier, découvrez si votre banque a bien respecté ses obligations légales !

**Une offre zéro risque,  
et une rentabilité imbattable**



**Valentré Conseils**

S.A.S N° 794 285 130 R.C.S Cahors  
Cadurcia Rte de S' Cevet 46230 FONTANES  
contact@valentre-conseils.com  
05 65 217 218

Conseiller en Investissement Financier, membre de la CNCIF,  
Immatriculée à l'Orias 13 008 048  
« Sous le contrôle de l'Autorité de Contrôle Prudentiel  
et de Résolution »

ACPR - 61 rue Taibout, 75346 Paris cedex 9



L'OSF, Optronique Secteur Frontal, avec la voie Infrarouge de SAGEM (à gauche)



par **Hervé BOUAZIZ**, ICA

**DIRECTEUR DE LA  
STRATÉGIE ET DU BUSINESS  
DEVELOPMENT SAGEM**

Hervé Bouaziz (X88 – SupAéro) a commencé sa carrière à la DGA, où il sera Directeur des programmes Mirage 2000 N et D. Après avoir été attaché d'armement adjoint à l'ambassade de France à Washington, il devient chef de la Division des systèmes de forces du Centre d'Analyse de Défense en 2008 avant d'entrer chez Safran comme Adjoint au Directeur général Défense et Sécurité et de prendre ses fonctions actuelles chez Sagem en 2013.

## SAGEM, LES YEUX ET LES GRIFFES DU RAFALE

SAGEM, équipementier aéronautique et défense du Groupe SAFRAN, assure la maîtrise d'œuvre d'éléments critiques pour la performance opérationnelle du Rafale. Lesquels ? Des équipements parfois peu visibles, mais si essentiels à l'efficacité de l'avion. Il s'agit principalement du système de navigation à gyrolasers Sigma RL 90, de l'Optronique Secteur Frontal (OSF, voie Infrarouge), des autodirecteurs MICA Infrarouge, et de l'Armement air-sol modulaire (AASM). Autant d'équipements combinant les technologies de souveraineté cœur de métier de Sagem : l'optronique, la navigation inertielle et l'électronique embarquée critique. Les récentes opérations militaires dans lesquelles le Rafale a été impliqué ont démontré l'indiscutable efficacité du système d'arme, et notamment son aptitude à « entrer en premier » sur des théâtres d'opérations complexes. Les succès à l'export qui s'enchaînent « en rafale » couronnent enfin cette remarquable réussite.

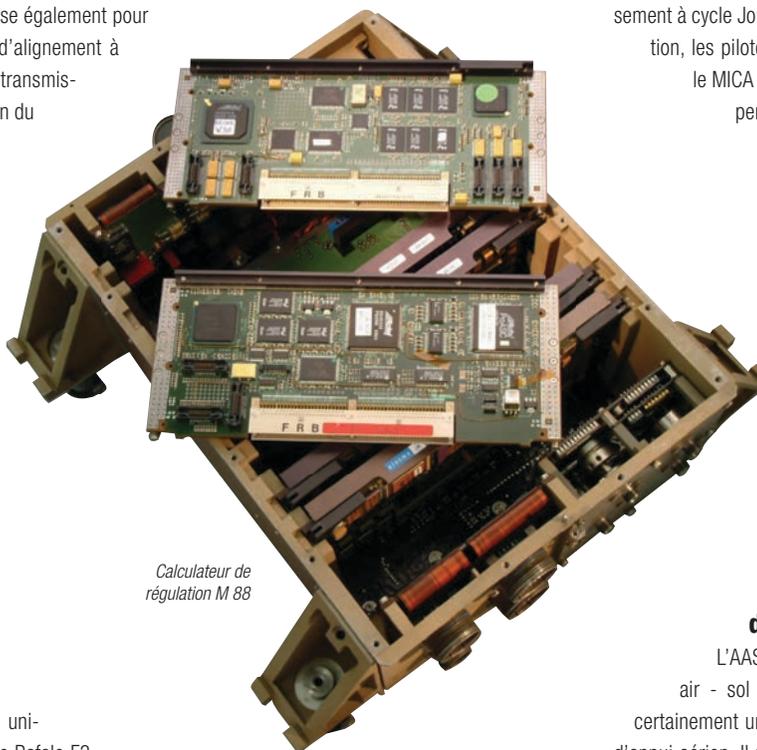
## Les yeux et ... l'oreille interne

La Sigma RL 90 est un système de navigation précis et autonome à base de gyrolaser. C'est la véritable oreille interne du système fournissant les données intègres de localisation et d'orientation plate-forme à l'ensemble du système. Elle est le fruit d'une expérience de plus de 50 ans dans la navigation inertielle, pour le tactique ou la stratégique, puisque les centrales SAGEM équipent les principaux systèmes d'armes de notre outil de défense, des sous-marins nucléaires lanceurs d'engin aux missiles balistiques, du NH 90 à l'A 400 M. Elle possède des capacités de navigation dite optimale, par hybridation GPS ou par recalage via la corrélation d'altitude, fichier ou carte radar, utilisées dans la plupart des missions conventionnelles. Sa précision inertielle pure et son intégrité deviennent des atouts clés dans le cadre de missions difficiles et de longue durée, telle la mission nucléaire avec l'ASMPA où la navigation doit se faire de manière totalement autonome. Dans un scénario de pénétration tout temps en basse altitude, c'est encore elle qui sécurise le suivi de terrain qui s'effectue sur fichier, le radar étant préservé pour la surveillance air – air. La RL 90 dispose également pour le Rafale Marine d'un mode d'alignement à la mer, qui peut se faire sur transmission des données de navigation du porte-avions.

Les yeux, c'est l'optronique secteur frontal du Rafale, un équipement logé dans la pointe avant, et développé à 50 – 50 avec Thales, un peu *Optrolead* avant l'heure ! SAGEM est responsable de la voie infrarouge (IR), Thales de la voie visible (TV) et laser et de l'intégration à l'aéronef. Les armées ont commandé l'OSF en version IR + TV avec la tranche de Rafale F2, et en version uniquement TV avec la tranche de Rafale F3.

Opérationnellement, l'OSF comme tout IRST (Infra Red Search and Track) a une portée relativement restreinte par rapport à un radar, mais il présente intrinsèquement des avantages différenciants dans le combat moderne. C'est d'abord une veille

optronique, puisqu'il permet de surveiller un bandeau sectoriel choisi et de fournir au système des pistes de détection dans une logique de fusion multicapteurs. C'est ensuite la capacité à identifier visuellement un aéronef à grande distance, un élément critique des règles d'engagement dans les conflits modernes. C'est enfin le potentiel à terme d'identifier un tir missile adverse, un point clé pour le combat aérien au-delà de la portée visuelle (Fox 3 BVR pour les initiés). Depuis le début du développement de l'OSF dans les années 90, SAGEM a travaillé à l'amélioration des performances de détection de la portée de la voie IR. L'évolution rapide des capacités de calcul et des détecteurs infrarouge ouvrent aujourd'hui la voie à des gains opérationnels très substantiels. Mais les yeux du Rafale se cachent aussi parfois dans des endroits insoupçonnés. L'autodirecteur infrarouge du missile MICA est un concentré de technologie, qui contribue fortement à l'efficacité opérationnelle redoutable du missile, et qui répond à des spécifications sévères d'environnement en emport et en tir. Partenaire de longue date du missileier MBDA, SAGEM a développé un



Calculateur de régulation M 88

savoir-faire unique dans ce domaine des autodirecteurs, où il faut intégrer dans un volume très réduit un capteur infrarouge, une optique performante, un dispositif (inertiel) de stabilisation de



Fabrication des Gyrolasers SAGEM dans l'usine Coriolis à Montluçon

la ligne de visée et une électronique de guidage. Le module optronique disposant d'un refroidissement à cycle Joule - Thomson souple d'utilisation, les pilotes font tourner communément le MICA en mode veille en permanence pendant les vols, et il devient ainsi un capteur secondaire dont les détections sont immédiatement reportées en tête haute. Cette fonction est particulièrement utile en vol basse altitude où c'est au pilote d'assurer son anticollision, face parfois à des petits avions, volant pas vite et près du sol, parfois difficilement détectables. Deux paires d'yeux valent mieux qu'une ...

## AASM, les griffes du Rafale

L'AASM de SAGEM est l'armement air - sol de prédilection du Rafale, et certainement un atout majeur pour la mission d'appui aérien. Il peut en délivrer six simultanément via un emport triple sous chaque aile, sur six cibles différentes. Le AASM est constitué d'un kit de guidage avant et d'un kit arrière d'augmentation de portée qui se montent sur un corps de bombe standard de type Mk 82 de 250 kg ou



Les AASM en emport triple (en bas) et le MICA IR (en haut)

autre. Il est disponible dans trois versions permettant de s'adapter à une palette très large de conditions d'emploi. Une première version dite INS + GPS, dans laquelle le guidage est assuré sur coordonnées absolues ou relatives via une centrale de navigation extrêmement compacte et sans parties mobiles (« strap-down ») à base de la toute dernière technologie gyroscope développée par SAGEM, le Gyroscope Résonnant Hémisphérique (GRH). La deuxième version dite « Infra-rouge » est dotée en plus d'un imageur et d'une capacité de reconnaissance pour un guidage terminal métrique. La troisième version est à guidage laser et a été qualifiée y compris sur cible mobile. Le kit arrière dispose d'ailes déployables et d'un propulseur solide qui confèrent à l'AASM une portée hors norme pour ce type d'armement, jusqu'à 60 km, et un domaine de tir extrêmement étendu qui comprend la très basse altitude. Du point de vue système, il est le seul armement de sa classe avec un dispositif de stabilisation active qui permet de sécuriser la séparation de l'aéronef quel que soit le porteur, et ce dans une large enveloppe de vol. Opérationnellement, ses capacités de tir à distance de sécurité en font une arme de choix pour « l'entrée en premier » sur un théâtre d'opération. Sa flexibilité d'emploi et sa précision répondent particulièrement bien à l'évolution récente des conflits, où il faut traiter

des cibles diffuses et éphémères en évitant les dommages collatéraux. Avec les engagements récents en opérations extérieures du Rafale, le AASM a démontré son efficacité opérationnelle puisque plusieurs centaines de tirs ont été effectués avec un taux de réussite très proche de 100 %. Il a été utilisé avec succès dans le cadre de missions de type DEAD (Destruction of Enemy Air Defense) contre des sites sol - air.

### Le cerveau du moteur

Le Rafale est motorisé par deux turboréacteurs SAFRAN SNECMA M88 développant chacun 7,5 tonnes de poussée. SAGEM réalise pour SNECMA les calculateurs moteurs civils, notamment CFM 56 et LEAP, et militaires. Le calculateur RN 2588 du M 88 est de type FADEC (*Full Authority Digital Engine Control*). Il est l'organe intelligent du moteur, critique pour la sécurité des vols. Chaque moteur est doté, pour des questions de redondance, de deux calculateurs dialoguant ensemble qui assurent les fonctions de régulation, de surveillance notamment vibratoire et de protection du moteur. Le savoir-faire de SAGEM réside dans le développement d'une électronique critique, intégrée et fiable, devant résister à des contraintes d'environnement vibratoire et en température extrêmement sévères, et qui est certifiée avec le moteur. 🗨️

### Un outil industriel national de classe mondiale pour soutenir des technologies de souveraineté

Les technologies de souveraineté, optronique, navigation inertielle et électronique embarquée, développées par SAGEM pour garantir la maîtrise d'un système d'armes comme le Rafale, reposent sur des milliers d'emplois hautement qualifiés, et un outil industriel national conséquent, dont la rentabilité économique passe par des positions de marché à l'échelle mondiale. SAGEM, numéro un européen et numéro 3 mondial de la navigation inertielle, produit ainsi à Montluçon dans sa toute nouvelle usine Coriolis (60 M€ d'investissement) des milliers de gyrolasers et de GRH pour les marchés terrestre, naval, aéronautique et spatial. La même philosophie d'acteur mondial est de mise pour l'optronique produite à Poitiers et Dijon, et pour l'électronique, produite dans l'usine de Fougères.

Maîtrise d'Oeuvre de Systèmes de Systèmes

MOSS



Gouvernance Programme

Ingénierie Système

Accompagnement Opérationnel

MOSS SAS - 86, rue Henri Farman - 92130 Issy les Moulineaux - 01 47 65 00 00



## L'AGGLOMÉRATION DE BOURGES : UNE TRADITION D'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE & DÉFENSE

- Une présence militaire historique
- Un savoir-faire reconnu
- Des grands groupes à dimension internationale
- Un tissu de PME-PMI de haute technologie
- Une recherche diversifiée
- L'innovation encouragée
- Une technopôle spécialisée dans la prévention des risques

POUR TOUT  
RENSEIGNEMENT :

Florence THÖNI-KYOBE  
[f.thoni-kyobe@bourgesplus-developpement.fr](mailto:f.thoni-kyobe@bourgesplus-developpement.fr)  
02 48 67 51 24



COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION

MBDA / Nexter / Safran / Esterline / Roxel / Pôle Capteurs & automatismes / ENSIB / PRISME / Base aérienne d'Avord / LEES / LASEP / CETIM-CERTEC / SC AERO / SECO Tools / Cogit Composites / ASB / Ecoles Militaires / DGA / Techniques terrestres / Michelin...



Mica-Rafale 2 © C.COSMAO - AIR&COSMOS

Meteor\_Mica\_Mica IR\_2  
© MBDA UK Limited 2005

# LA CONTRIBUTION DU MISSILIER À LA POLYVALENCE DU RAFALE



par **Olivier MARTIN**, IGA

■ **SECRÉTAIRE GÉNÉRAL  
DU GROUPE MBDA**

Olivier Martin (X77 – ENSTA) a commencé sa carrière à la DGA avant d'entrer en 1991 chez Matra Défense et de devenir chez Matra BAE Dynamics (MBD) directeur des programmes anti-surface. En 2003, il dirige l'entité Defence Electronics France du groupe EADS, puis la stratégie de l'entité Defence & Security SAS d'EADS. Depuis fin 2007, il est le Secrétaire Général du groupe MBDA.

Le Rafale a été le premier avion de combat de l'armée de l'Air française conçu dès son origine comme un avion multi-rôle. Cette capacité multi-rôle a été brillamment démontrée lors des interventions récentes en Libye, au Mali et aujourd'hui en Irak.

Ce résultat est le fruit d'une coopération très étroite entre les partenaires industriels du Rafale et notamment l'avionneur (Dassault), le radariste (Thalès) et le missilier (MBDA). Cette démarche a porté ses fruits car les conditions d'un véritable dialogue, en amont des développements, entre la puissance publique, l'avionneur et les industriels responsables des senseurs et des missiles existent et permettent de trouver un équilibre entre les exigences de la

plate-forme et celles de ses armements. C'est un atout français. Il faudra le préserver dans la perspective des futures plates-formes qui seront développées en coopération, notamment au sein du programme de futur drone de combat entre la France et la Grande-Bretagne.

Avec cette coopération, la France a ainsi fait le choix de l'efficacité économique en considérant le système d'arme comme un ensemble avion – capteurs - missile optimisé dans le but

d'assurer une polyvalence totale tout en limitant à l'essentiel le nombre des intégrations de missiles. Avec seulement 5 missiles différents (Mica, Scalp, AASM, Exocet et ASMP-A), le Rafale est aujourd'hui capable d'assurer toutes les missions de défense aérienne et notamment celles d'entrée en premier, de frappe de précision à courte, moyenne et longue distance, d'attaque antinavire, et - incontestablement la mission la plus exigeante de toutes - celle de dissuasion nucléaire. A ces capacités, s'ajoutera d'ici 2018 avec le standard F3R l'interception à longue distance avec le missile européen Meteor, dont un tir d'essai à partir du Rafale a été couronné de succès. Cet armement aux performances cinématiques aujourd'hui inégalées triplera au minimum la *no escape zone* par rapport à tout autre armement air - air aujourd'hui en service.

## « Avec 5 missiles, toutes les missions de défense aérienne sont assurées »

La pérennité des capacités du Rafale passe également par les évolutions de ses armements qu'il faudra planifier en fonction des futurs standards avion. Afin de faire face à l'évolution de l'environnement tactique, nos aviateurs devront, d'une part, être capables d'assurer des frappes toujours plus précises et avec moins d'effets collatéraux (ce qui plaide pour le développement de missiles air - sol à charges plus petites), et d'autre part, pour les conflits de plus forte intensité, continuer de faire progresser les capacités de pénétration (ce qui



Mica\_Mica IR\_Mica RF\_Scalp\_Storm Shadow\_Rafale  
© MBDA Alexandre Paringaux

plaide pour des vecteurs plus rapides, plus discrets ou eux-mêmes mieux protégés).

La polyvalence sans égal du Mica - missile de combat et d'interception équipé d'un autodirecteur infrarouge ou électromagnétique - est à préserver. Des études amont sont en cours pour réaliser les choix techniques d'évolutions possibles du missile visant à pérenniser ses capacités au-delà des années 2020 pour être au rendez-vous de la rénovation à mi-vie du Rafale. Quant au Meteor, des études ont été lancées pour explorer le potentiel qu'offre la cellule et sa propulsion pour d'autres applications que sa mission initiale d'interception à très longue distance.

Le Scalp, que les Rafale Air et Marine ont employé lors de l'opération Harmattan, fait actuellement l'objet d'un programme de rénovation à mi-vie. Des études pour un successeur ont été initiées dans un cadre franco-britannique dans la dynamique du traité de Lancaster House. Un dérivé de ce successeur couvrira également la mission an-

tinavires actuellement occupée par l'Exocet AM39 et ce, au milieu de la prochaine décennie.

Toujours dans le domaine de la frappe air - sol, MBDA prépare un projet de missile compact et stand-off (100 km / 100 kg) d'emploi général à bas coût qui accroîtra la puissance de feu du Rafale dans des scénarios d'engagements complexes. Dénommé AASL (Armement Air Sol Léger), ce système vise le rendez-vous du Rafale standard F4. Sur la base de l'AASL, une famille d'armements peut être déclinée comme un AS500 de 500 kg et toujours de 100 km de portée. Ces armements équiperont aussi le futur drone de combat (UCAV).

En ce qui concerne la mission nucléaire aujourd'hui assurée avec le missile ASMPA par les FAS (Rafale Air) et la FANU (Rafale Marine / PACDG), le Président de la République a récemment confirmé que des études pour un successeur ont été engagées pour explorer les technologies les plus exigeantes et, en particulier, être encore plus efficace dans les domaines de la vitesse, des matériaux et de la furtivité.

**En conclusion, grâce notamment à son système d'armes capable de mettre en œuvre aujourd'hui et à l'avenir une panoplie de missiles aéroportés particulièrement performants, les perspectives à l'export de l'avion de combat Rafale se révèlent particulièrement prometteuses. Les récents succès remportés au début de cette année à l'exportation, avec le soutien très efficace des autorités françaises, sont de puissants encouragements à poursuivre dans cette voie de coopération étroite entre les industriels concernés pour maintenir au plus niveau l'excellence opérationnelle du système d'armes Rafale.** 🇫🇷



Exocet AM39\_MICA\_MICA RF © Dassault Aviation 2005

# UN RAFALE, DES RAFAUT !

## RAFAUT = (AIRBUS + DASSAULT), OU UNE PME AÉRONAUTIQUE DUALE FRANÇAISE EN 2015



par **Bruno BERTHET**, ICA

Bruno Berthet (X78 – SupAéro) a été chargé de la guerre électronique et des armements aéroportés à la DGA. Après avoir été directeur des programmes Mirage 2000, il devient sous-chef Plans Programmes de l'EMAA et en 2007 directeur adjoint du Développement International (DGA). Il rejoint Rafaut fin 2011.



Emérillon de Sécurité Largable RAFAUT...  
Le début de l'aventure

La société RAFAUT célèbre cette année son soixante-quinzième anniversaire. Entreprise de sous-traitance automobile (composants de boîtes de vitesse notamment) créée par Raymond Rafaut, elle est reprise, après son décès brutal en 1960, par son fils Jacques. Celui-ci l'oriente très rapidement, au cœur des Trente Glorieuses, vers la sous-traitance aéronautique.

**L**e hasard des rencontres lui permet, une dizaine d'années après, de fabriquer en série pour le SPAé (Service de la production aéronautique) un émerillon : le voici fournisseur de la DGA. La légende veut qu'en fait aucun industriel (majeur) ne voulait réaliser ce « bout de fil », surtout en urgence...

La PME deviendra vraiment équipementier dans le domaine des interfaces entre aéronefs de combat et charges, grâce au STAé (Service technique aéronautique) et aux Avions Marcel Dassault, sous l'avion d'entraînement Alphajet, avec un éjecteur et un lance-bombes d'entraînement. En parallèle, sous-traitante aéronautique civile, notamment de la SNIAS, elle participe aux débuts de l'aventure d'Airbus. C'est l'époque où les économistes du milieu expliquaient docilement qu'aéronautique civile et aéronautique militaire sont et seront des activités à cycles forts et contracycliques. Le business model de Rafaut vise alors un partage sensiblement équivalent entre les deux secteurs. Depuis, le succès commercial d'Airbus a déplacé ce ratio vers 2/3 - 1/3, mais l'objectif reste bien le même.

L'étape suivante sera le choix de la société par la DTCA/STTE en 1984 pour le développement de l'adaptateur bombe AUF.2 pour le point volure du Mirage F1. Il s'agit cette fois d'une véritable aérostructure complexe, fortement sollicitée, intégrant toutes les fonctions air - sol conventionnelles d'un avion de combat et destinée à l'intégration sous une voilure dont la susceptibilité au flutter était réputée. Les travaux réalisés en étroite coopération avec la direction des essais en vol de Dassault et le Centre d'essais en vol à

Istres puis à Cazaux sont couronnés de succès. L'opération Epervier confirmera dès 1988 l'intérêt de la solution retenue, que l'Armée de l'air décidera donc d'étendre au Jaguar au point volure – choix largement valorisé lors de la guerre du Golfe en 1991.

En parallèle, la DGA avait notifié à Rafaut un développement exploratoire pour le développement d'un éjecteur 14 " / 30 ". Rafaut faisait en outre la promotion d'une poutre d'interface permettant de coupler deux AUF.2 – démontrant sa capacité à prendre en charge une structure de type pylône. La société allait donc tout naturellement faire acte de candidature pour les emports destinés au Rafale.

Dassault Aviation a organisé, à la demande de la direction de programme, la mise en compétition des moyens d'emport Rafale – en ce début des années 90, donc bien avant que la notion de plans d'acquisition soit formalisée dans les méthodes de la DGA. Les équipements concernés étaient les pylônes des trois points d'emport – qui redevenaient comme pour le Mirage F1 des pylônes « universels », capables de l'emport d'armement mais aussi de réservoir largable – et l'éjecteur 14 " x 30 ".

La volonté d'autonomie nationale conduisait de facto, très naturellement à l'époque, à restreindre la compétition aux champions nationaux. Dassault lui-même, Alkan et Rafaut, qui venait donc de démontrer ses compétences dans un domaine connexe, ont été consultés pour les pylônes ; Alkan et Rafaut pour l'éjecteur.

Dassault fut alors tenté de se retenir, probablement pour minimiser les risques techniques et



Les équipements RAFAUT sous RAFALE du haut (l'aile) vers le bas (la bombe AASM en cours de séparation) : le pylône PU708, le tribombe AT730, l'éjecteur 14" TG480 (pistons détendus) et le fil de sécurité largable.

simplifier sa gestion des interfaces. La DCAé/STTE<sup>1</sup> poussa néanmoins à un partage : le pylône fuselage sera réalisé par Alkan, le pylône point 1<sup>2</sup> par Dassault et le pylône point 2 par Rafaut. Ce choix impliquait cependant des contraintes particulières. Ce dernier pylône était à l'époque considéré comme le plus complexe à concevoir et à fabriquer car il assure toutes les fonctions des deux autres pylônes dans un volume sensiblement plus restreint.

En outre, une règle d'or alors en vigueur pour le programme Rafale imposait une prise en charge par l'industrie de 25 % des coûts de développement, démontrant la confiance collective dans l'exportabilité du produit.

Dès lors le développement simultané du pylône point 2 et de l'éjecteur dépassait sans doute les capacités techniques et financières de Rafaut, et la DGA décida de confier l'éjecteur à la société Alkan – les dépouillements avaient conduit à des résultats très proches, sans doute en sa faveur pour le coût complet de possession.

La consultation avait en fait (un peu) tardé à être lancée ; son dépouillement, ici rapporté en quelques lignes rapides, avait été tout particuliè-

rement difficile, laborieux et donc long. Le programme Rafale, lui, n'avait pas été décalé dans cette période. Le sujet était donc devenu tout naturellement très urgent. Les systèmes d'emport sont donc redevenus, sous cette pression, des équipements approvisionnés par l'Etat, et des lettres de commande ont été émises par le STTE. Le défi industriel était dès lors amplifié pour Rafaut : fournir des prototypes bons de vol dans un délai maximum de 24 mois.

### « Ils ont largement démontré leur capacité à contribuer au succès de la mission du Rafale »

Ce challenge fut relevé, bien sûr grâce à son dynamisme, à sa compétence technique et à sa volonté de réussir ce qui était pour elle un nouveau positionnement stratégique, mais aussi grâce à la coopération et à la détermination de Dassault qui, une fois les règles arrêtées, a largement contribué à la montée en

gamme du bureau d'études de la PME Rafaut. Une centaine de PU 708 sont aujourd'hui en service opérationnel. Ils ont largement démontré leur capacité à contribuer au succès de la mission du Rafale, tant Air que Marine. Ils emportent sur tous les théâtres réservoirs, missiles de croisière SCALP, bombes de 1000 kg (GBU 24 par exemple), trios de bombes de 250 kg (AASM par exemple), sous adaptateur tribombe Rafaut ... mais ceci est une autre histoire.

Une nouvelle série de soixante est en cours de fabrication pour la France, à laquelle viennent s'ajouter les commandes destinées à l'export. La DGA et Dassault Aviation auront donc eu raison de faire confiance pour un équipement mécaniquement complexe à cette PME qui avait démontré sa capacité à réaliser des équipements militaires assurant des fonctions proches, sa volonté de monter en compétence, et qui était aussi capable de participer à l'aventure Airbus comme sous-traitant de rang 1. Rafaut allait dès lors s'appliquer à dégager, avec succès, les synergies entre ces milieux mécaniques des aéronautiques civile et militaire. 🐦

1) Le directeur était alors l'ingénieur général de l'armement Jacques Vedel, qui deviendra le dernier Directeur des constructions aéronautiques le 1<sup>er</sup> juillet 1991.

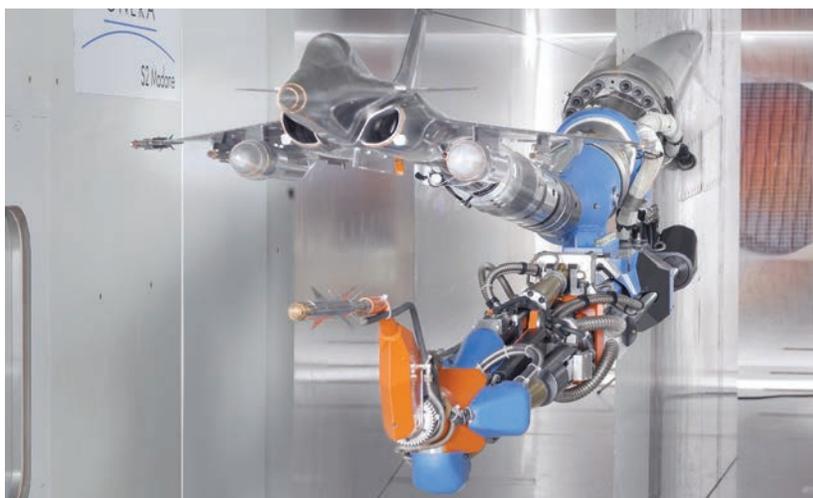
2) Les points d'emport d'un avion d'armes sont classiquement repérés à partir du fuselage, en incrémentant vers l'extrémité de voilure : le central est le point 0.

# LE RAFALE SOUMIS AU VENT DES SOUFFLERIES

## 30 ANS DE CONTRIBUTION DE L'ONERA

La France est une nation associée à l'aéronautique, reconnue comme telle. Parmi les facteurs différenciants qui permettent à nos industriels de concevoir des avions qui égalent ou dépassent la concurrence internationale, il y a les compétences et moyens de l'ONERA. L'expérimentation demeurant un moyen incontournable sur les sujets d'aérodynamique, le fait que l'ONERA ait développé le parc de souffleries le plus performant au monde n'est pas étranger aux succès de notre industrie aéronautique et en particulier du Rafale. Un rapide survol des nombreuses campagnes d'essais, au total plus de 160, réalisées dans les grandes souffleries de l'ONERA pour le Rafale est ici proposé.

Les premiers essais en grandes souffleries sur le Rafale, ou sur les démonstrateurs qui l'ont précédé (ACT, ACX), remontent au tout début des années 80, fin des années 70. La longue suite des essais s'est alors déroulée dans les grandes installations de Modane sur



Trajectographie de l'AM39 Exocet sous Rafale dans la soufflerie S2MA



par **Patrick WAGNER**

**DIRECTEUR DES GRANDS MOYENS TECHNIQUES À L'ONERA**

Ingénieur d'essais dans les grandes souffleries de Modane, puis ingénieur de conception à la soufflerie cryogénique ETW à Cologne en Allemagne, Patrick Wagner a occupé depuis 1999 divers postes de responsabilité à l'ONERA avant d'être chargé de la division souffleries, bureaux d'études, valorisation des codes.

tout le domaine de vol pendant une trentaine d'années. La soufflerie transsonique et supersonique S2MA de Modane-Avrieux, ainsi que sa voisine, la très grande soufflerie S1MA, ont été les lieux principaux de toute l'activité expérimentale menée sur le Rafale, mais pas uniquement. Il a fallu très tôt examiner la faisabilité d'options de conception ayant un impact majeur sur la conception de l'appareil. Au premier rang de ces évaluations il faut citer l'étude des entrées d'air qui sont les orifices de captation de l'air qui va alimenter les moteurs. Il est tout à fait évident, lorsqu'on observe cet avion, que les entrées d'air sont très particulières et se distinguent de celles observées sur d'autres avions militaires conçus à l'étranger. Il est

**« explorer le comportement des entrées d'air »**

essentiel que l'alimentation des moteurs se fasse « correctement » dans tout le domaine de vitesse transsonique et supersonique, ce qui, en termes plus techniques, se traduit par une maîtrise des distorsions de l'écoulement immédiatement en amont du moteur. Un excès d'inhomogénéité de l'écoulement pourrait avoir pour conséquence une extinction du moteur. Il faut également que la résistance à l'avancement générée par ces entrées d'air ne pénalise pas les performances de l'avion,



Essais à haute incidence du Rafale dans la veine transsonique de la soufflerie S2MA

quel que soit le régime du moteur. Les entrées d'air pourraient également être des éléments limitants pour la manœuvrabilité de l'appareil. Il est donc nécessaire d'explorer le comportement de ces éléments sur toute la plage d'attitude de l'appareil. Seuls des essais à assez grande échelle donnent accès à une simulation expérimentale représentative et transposable au vol. L'ONERA possède des souffleries de grandes tailles, ayant permis d'essayer des échelles aussi grandes que le 1/4 sur les entrées d'air. En plus de ses capacités expérimentales, l'ONERA a développé des compétences de métrologie et de traitement du signal au meilleur niveau mondial spécifiques aux essais d'entrée d'air. Ces moyens et compétences ont été mis au service des ingénieurs de Dassault Aviation qui ont ainsi pu concevoir cette partie de l'avion, qui conditionne grandement les performances et la capacité multi-mission de l'avion, de façon originale et en avance sur la concurrence mondiale.

Une seconde grande famille d'essais est la détermination des efforts aérodynamiques sur l'avion dans tout le domaine de vol. Ces essais incluent la détermination des efforts sur la voilure, sur les plans canard, sur les gouvernes ainsi que la résistance à l'avancement de l'avion, la « traînée », pour vérifier sa capacité à réaliser les performances prévues en vitesse. Ces essais se sont également déroulés dans les grandes souffleries de Modane S1MA et S2MA à des échelles comprises entre

le 1/4 et le 1/16. Il vient évidemment immédiatement à l'esprit que les performances de l'avion vont grandement dépendre de ce qu'il emporte avec lui, attaché à ses ailes ou sous son fuselage. De nombreuses configurations « d'emport » ont effectivement été essayées en souffleries incluant des réservoirs supplémentaires de 1 250 l et 2 000 l, positionnés en différents points d'attache, des missiles (Apache, MICA-IR, MICA-EM, AS30L, Magic2, AASM, MARS, SCALP-EG, ASMP-A, METEOR, AM39), des bombes (GBU12 et GBU24).

### De nombreuses configurations d'emport

L'étude des emports est immédiatement suivie de l'étude des conditions de largage des réservoirs par exemple, ou de tir et de séparation des missiles. La compatibilité des trajectoires de l'avion et de la charge doivent être analysées de façon détaillée afin d'éviter tout problème de collision. Les facteurs suivants doivent être pris en compte lors de cette séparation de charge : le facteur de charge de l'avion en mouvement, la force d'éjection de la charge à partir de son point d'encrage, la force de propulsion de la charge lors de l'allumage de son moteur, les mouvements des gouvernes de l'avion, les systèmes de contrôle du vol de la charge, les masses et inerties, les efforts aérodynamiques sur l'avion et la charge. Tout ceci représente un champ d'analyse relativement complexe, mais qui ne laisse pas de place au flou, avant de

passer à une phase d'expérimentation en vol. La détermination de la compatibilité entre la charge et l'avion en soufflerie se réalise par un « robot » appelé « système de trajectographie captive » qui prend en compte la totalité des paramètres évoqués précédemment. Une mesure en « temps réel » de tous les paramètres, et en particulier des efforts, permet de restituer la trajectoire et les attitudes, parfois extrêmes, des charges lors de cette phase très critique. L'ONERA possède un dispositif de trajectographie adapté à la soufflerie S1MA et un autre adapté à la soufflerie S2MA. Le choix de la soufflerie étant déterminé par le type de charge, air - air ou air - sol, et la vitesse de l'avion lors du tir (transsonique ou supersonique). Les échelles lors des essais de trajectographie varient du 1/6 au 1/16.

Il y a un certain nombre d'autres essais réalisés à l'ONERA au bénéfice du Rafale : des essais d'identification de la signature infrarouge, des essais de caractérisation de l'arrière corps de l'appareil, des essais de caractérisation des paramètres de mécanique du vol, des essais de couplage vibratoire entre la voilure et l'écoulement, des essais à basse vitesse réalisés dans la soufflerie F1 du Fauga-Mauzac de l'ONERA. Il faut également citer des essais pour déterminer avec une très grande précision la poussée du moteur M88. Des essais dans le cadre des études amont ont également été réalisés dans les souffleries de recherche de l'ONERA à Meudon, qui visaient à caractériser le jet moteur et définir des stratégies de contrôle de jet.

L'ensemble des essais réalisés dans les souffleries de l'ONERA ont permis d'apporter au concepteur Dassault Aviation ainsi qu'aux concepteurs de missiles et charges des éléments information permettant d'optimiser de façon globale l'appareil et son environnement. L'aérodynamique reste un domaine où toute rupture ou même évolution majeure de configuration doit être soumise à l'arbitrage de l'expérimentation si on veut éviter d'avoir au final un produit à performances amoindries par excès de conservatisme, ou au contraire inapte au service par excès d'optimisme. La porte du succès est étroite. L'ONERA a mis ses installations et compétences au service du Rafale. Le but initial était d'obtenir un produit final qui puisse prendre l'avantage sur les théâtres d'opération ; toute l'expérience récente montre que l'objectif est atteint. 🐛



par **Hubert VAILONG**, ICA

■ **ADJOINT AU SOUS-CHEF  
« PRÉPARATION DE L'AVENIR »  
À L'ÉTAT-MAJOR DE L'ARMÉE  
DE L'AIR**

Hubert Vailong (X91, Supaéro 96, MIT MS97) a notamment conduit la qualification du standard F2 du Rafale en tant qu'architecte technique, puis a été directeur du programme MRTT (avions multi-rôles de ravitaillement en vol et de transport) au sein de l'unité de management « Avions de mission et de support » de la DGA.



par **Philippe SUHR**,

Colonel

■ **OFFICIER DE SYNTHÈSE  
« AVIONS DE COMBAT ET  
ÉQUIPEMENTS » AU BUREAU  
« EXPERTISE ORGANIQUE  
– PROGRAMMES » DE L'ÉTAT-  
MAJOR DE L'ARMÉE DE L'AIR**

Le colonel Suhr (EA93) a commencé sa carrière dans la reconnaissance aérienne sur mirage F1CR. Après un premier passage à l'EMAA, suivi de l'école de guerre, il commande l'escadron de chasse et d'expérimentations du CEAM, où il effectue une transition sur Rafale. De retour à Paris, il occupe le poste d'officier programme Rafale pendant 2 ans.

# LE RAFALE DANS L'ARMÉE DE L'AIR : LE CHASSEUR OMNI- RÔLES EN ACTION

Le 27 juin 2006, sur la base aérienne 113 de Saint-Dizier, Michèle Alliot-Marie, alors ministre de la Défense, déclare le Rafale opérationnel au standard F2 au sein de l'escadron de chasse 1/7 « Provence » nouvellement réactivé. Le 19 septembre 2014, quelques heures après la décision du Président de la République, François Hollande, d'apporter une assistance militaire directe à l'Irak, des Rafale F3 mènent les premières frappes de l'opération Chammal contre Daesh. Entre ces deux événements, le Rafale a gagné ses galons d'avion « omni-rôles », capable d'assurer l'ensemble du spectre des missions confiées aux chasseurs de l'Armée de l'air. Retour sur près de 10 ans d'activité opérationnelle.



*Rafale au-dessus de Bagdad pendant Chammal*

Comme le Mirage 2000, le Mirage F1 ou le Mirage III avant lui, le Rafale fait désormais partie des avions de chasse emblématiques des armées françaises. Symbole de haute technologie et de performance, il représente parfaitement l'Armée de l'air d'aujourd'hui. Une armée

particulièrement jeune, puisqu'elle vient à peine de fêter ses quatre-vingts ans !

Conçu pour remplacer l'ensemble de ses prédécesseurs (7 types d'avions différents), et assurer les missions les plus complexes, le Rafale incarne l'excellence au cœur des valeurs de l'aviateur. Il



Ravitaillement en vol exercice nuc : un Rafale et un Mirage 2000 armés de l'ASMP-A en ravitaillement sur un C-135 FR des FAS.

est devenu incontournable pour la réalisation des trois missions fondamentales de l'Armée de l'air : la dissuasion, la protection et l'intervention.

### De « combat ready » ...

Le niveau d'engagement des armées françaises en dehors de la Métropole a rarement été aussi élevé et aussi médiatisé. Pourtant, les opérations extérieures ne sont que la partie émergée de l'iceberg. Dans l'ombre, l'Armée de l'air assure en permanence deux missions primordiales pour la sécurité des Français : la dissuasion et la protection.

Face aux débats récurrents sur la dissuasion et sa composante aérienne, les forces aériennes stratégiques (FAS) démontrent au quotidien la pertinence de leur action. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2010, les Rafale de l'escadron de chasse 1/91 « Gascogne » armés du missile ASMP-A sont en alerte 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 sur la base aérienne 113 de Saint-Dizier, aux côtés des Mirage 2000N de l'escadron de chasse 2/4 « La Fayette » et des K/C 135 du groupement de ravitaillement en vol 2/92 « Bretagne » de la base aérienne 125 d'Istres. En combinant leur entraînement quotidien avec des exercices de montée en puissance (au sol) et des simulations de raids nucléaires (en vol sans armement réel), les Rafale, leurs équipages et leur personnel de mise en œuvre apportent la crédibilité nécessaire à notre dissuasion, et garantissent au Président de la République la protection des intérêts vitaux de la Nation.

De même, les Rafale du commandement des forces aériennes (CFA) et des forces aériennes

stratégiques (FAS) arment des « plots », activés 24 heures sur 24, afin d'assurer la posture permanente de sûreté en coordination avec les moyens de contrôle du commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes (CDAOA). Placés sous les ordres de la Haute autorité de la défense aérienne, ils garantissent la souveraineté de l'espace aérien national et la protection des populations. Des Rafale sont ainsi prêts à décoller en quelques minutes afin d'intercepter un aéronef hostile en tout point du territoire, ou de participer à des missions de service public, comme l'assistance en vol ou les recherches à la suite d'un accident aérien.

La dissuasion et la protection sont rarement mises en avant pour illustrer les qualités du Rafale car il y met en œuvre ses armements uniquement en dernier recours, sur ordre du pouvoir politique (Président de la République et Premier Ministre respectivement). Pourtant, c'est bien sur ces missions, pour lesquelles le Rafale a été conçu dès l'origine, que l'Armée de l'air s'est construite. Elles lui ont permis de développer la réactivité nécessaire pour intervenir hors de nos frontières dans des délais très courts. Grâce au niveau d'expertise opérationnelle atteint sur Rafale, l'Armée de l'air offre au pouvoir politique un système de combat crédible et cohérent, à la fois en termes d'équipements et de compétences.

C'est pourquoi des Rafale ont été déployés en Pologne pour assurer des opérations de police du ciel au-dessus de la mer Baltique et des États baltes à la suite de la montée des tensions entre l'Ukraine et la Russie en 2014. L'effet recherché de cette mesure de « réassurance » menée dans

le cadre de l'OTAN était avant tout politique. Malgré tout, les performances du système Rafale en termes d'interopérabilité, à la fois technique (fonctions natives sur le Rafale) et opérationnelle (entraînement des unités Rafale aux procédures OTAN), ont également permis d'asseoir la crédibilité de l'Armée de l'air et de la France en tant qu'Allié.

### ... à « combat proven »

C'est d'ailleurs dans le cadre de l'OTAN que le Rafale a connu son baptême du feu. Aguerri et perfectionné en Afghanistan, où il est engagé début 2007, moins de 9 mois après sa mise en service opérationnel dans l'Armée de l'air, et délivre ses premières bombes guidées laser et ses premiers armements air-sol modulaires (AASM), le Rafale va démontrer toute sa pertinence et ses capacités avec l'opération Harmattan au-dessus de la Libye. Dans le cadre d'une campagne purement aérienne, le Rafale y met en œuvre l'ensemble du spectre de ses armements air-sol, y compris le missile de croisière SCALP-EG. Les incertitudes persistantes sur l'état de la menace aérienne font par ailleurs du Rafale le choix préférentiel pour la première mission de la campagne (voir encadré). Son armement air-air (missiles MICA) et son système d'autoprotection

### Opération Harmattan : première mission

Le 19 mars 2011, une première patrouille de quatre Rafale est engagée de manière autonome au départ de la base aérienne 113 de Saint-Dizier, dans le nord-est de la France, pour assurer une zone d'exclusion aérienne au-dessus de Benghazi. Elle permet à une seconde patrouille de deux Rafale équipés de nacelles RECO NG (AREOS) de recueillir le renseignement nécessaire à la prise de décision politique d'engager les premières frappes. Quelques heures plus tard, deux autres Rafale équipés d'AASM, accompagnés par deux Mirage 2000D, délivrent leur armement sur des blindés des forces fidèles au Colonel Kadhafi. Cette mission emblématique a permis de démontrer toute la polyvalence du Rafale ainsi que sa capacité d'entrée en premier, mission parmi les plus exigeantes pour toute force aérienne moderne.



Cartes superposées BSS/Europe : le théâtre de la bande sahélo - saharienne couvert par l'opération Barkhane a une étendue supérieure à celle de l'Europe.

SPECTRA lui permettent, quelle que soit sa configuration, d'assurer sa propre protection face à tout type de menaces, air - air comme sol - air, qu'il soit armé pour une mission de frappe au sol ou pour une mission de reconnaissance.

A contrario, lors de l'opération Serval au Mali, ce sont plutôt les capacités du Rafale à se projeter dans des délais très courts et à mener des frappes d'ampleur dans la profondeur qui ont été mises à contribution pour répondre au tempo souhaité par les autorités politiques (demande d'assistance du président malien le 10 janvier 2013, décision d'intervenir et premières frappes par des Mirage 2000 D pré-positionnés le 11). Le premier raid effectué par des Rafale a alors confirmé leur rôle clé dans la capacité d'entrer en premier des armées françaises (voir encadré). Après ces premières frappes aériennes, l'opération Serval a surtout été marquée par la forte intégration des actions aériennes et terrestres. Les frappes réalisées dans l'Adrar des Ifoghas en support de nos troupes au sol ont démontré les bénéfices de la capacité d'emport inégalée du Rafale (1,5 fois sa masse à vide) et sa redoutable efficacité face à un ennemi asymétrique, particulièrement mobile et prompt à disparaître (voir encadré). Dans ce cadre, la capacité du Rafale à s'insérer dans la chaîne du renseignement grâce à sa nacelle AREOS a été déterminante.

Aujourd'hui, les Rafale déployés à N'Djamena permettent d'alimenter trois opérations en parallèle<sup>1)</sup> sur la bande sahélo-saharienne, dont l'étendue dépasse celle de l'Europe. Grâce à leur

polyvalence et à la faible empreinte au sol nécessaire à leur mise en œuvre, ils sont en mesure de répondre à toutes les sollicitations du théâtre, depuis les frappes air - sol jusqu'aux missions de reconnaissance.

Enfin, depuis l'été 2014, la France est engagée aux côtés de ses alliés (de l'OTAN ou non) dans l'opération Chammal. Dès le 15 septembre, avant même les premières frappes, le Rafale réalise ses premières missions de reconnaissance au-dessus de l'Irak, permettant au pouvoir politique, grâce aux informations recueillies par la nacelle AREOS, d'apprécier la situation de manière indépendante, et de conserver son autonomie de décision. Depuis, la capacité d'emport du Rafale, son interopérabilité, la performance de son système d'armes reposant sur la fusion des capteurs et la pertinence de son interface homme - système (qui met l'équipage dans de bonnes conditions pour réaliser sa mission, même après plusieurs heures de vol) ont permis de démontrer une nouvelle fois son efficacité en opération.

Au bilan, le Rafale cumule aujourd'hui environ 17 000 heures de vol en opérations extérieures, dont plus de 25 % en missions de nuit.

### Et maintenant ? L'avenir du Rafale dans l'Armée de l'air

A l'heure où l'export du Rafale se concrétise et vient consolider la loi de programmation militaire, l'Armée de l'air s'apprête à faire face au défi de la constitution du second escadron apte à réaliser la

### La première mission du Rafale dans le cadre de l'opération Serval

13 janvier 2013. A peine deux jours après la décision du Président de la République de déclencher l'opération Serval, quatre Rafale décolent de la base aérienne 113 de Saint-Dizier, dans le nord-est de la France, pour ce qui va devenir la mission de bombardement la plus longue de l'histoire de l'Armée de l'air. Ravitaillés par trois C-135 FR de la base aérienne 125 d'Istres, ils se posent à N'Djamena (Tchad) après 9 h 45 de vol, au cours desquelles ils ont frappé et détruit 21 objectifs des forces rebelles maliennes. Dès le lendemain, ces mêmes avions reprendront les frappes sur le Mali à partir de N'Djamena, soutenus pendant trois jours par les seuls personnels et moyens embarqués dans les C 135 FR, participant de manière décisive au coup d'arrêt donné à l'offensive rebelle qui menaçait Bamako.

### Mission Adrar Fever

Dans la nuit du 2 au 3 février 2013, en coordination étroite avec les troupes au sol de l'Armée de terre, un premier raid de deux Rafale (12 AASM) et quatre Mirage 2000 D (8 GBU49) tire simultanément 20 bombes en moins d'une minute, grâce notamment au mode « salve » des Rafale et au guidage GPS des AASM. Ils créent ainsi un effet de « sidération » qui prive l'ennemi de toute capacité de réaction et d'adaptation tactique. Après cette première passe, une seconde patrouille de Rafale assure encore six heures de permanence sur la zone pour interdire toute échappatoire à l'ennemi.

mission nucléaire. Egalement basé à Saint-Dizier, son ouverture est prévue en 2017, et il deviendra opérationnel en 2018, date à laquelle le Rafale remplacera définitivement le Mirage 2000 N pour la mission de dissuasion. A l'instar de l'escadron de chasse 1/91 « Gascogne », il s'appuiera sur la totale polyvalence du Rafale et de ses équipages

1) Barkhane sur l'ensemble de la bande sahélo - saharienne, Sangaris en République centra-africaine, Sabre au Mali

pour réaliser l'ensemble des missions de combat de l'Armée de l'air.

Par ailleurs, dans le format actuellement défini par le Livre blanc, ces deux escadrons intégrés dans les FAS et six escadrons de Rafale du CFA assureront à terminaison l'ensemble des missions conventionnelles de l'Armée de l'air (air - air, air - sol, reconnaissance). Compte tenu de la polyvalence du Rafale, chaque escadron sera capable de réaliser chacune de ces missions, mais aura également un rôle de « référent opérationnel » sur une mission donnée pour l'ensemble de l'Armée de l'air (ainsi, l'escadron de chasse 2/30 « Normandie - Niémen » est le référent « reconnaissance et air - sol conventionnel » et l'escadron de chasse 1/7 « Provence » est le référent « défense aérienne »).

Sur le plan fonctionnel, le prochain standard F3.R doit apporter avant la fin de la décennie des évolutions majeures, notamment avec l'intégration du missile à longue portée METEOR et d'un nouveau pod de désignation laser (TALIOS). Les réflexions sur un futur standard sont également déjà bien avancées, et permettront de tirer pleinement parti du potentiel d'évolution du Rafale et de sa capacité à être adapté de manière réactive



Rafale + nEUROn : un Rafale en vol en patrouille avec le démonstrateur nEUROn

en fonction des enseignements des conflits où il est engagé.

Enfin, le Rafale a vocation à s'intégrer dans le système de combat aérien futur, aux côtés des drones de combat préfigurés par le nEUROn et le futur démonstrateur franco-britannique, et des futurs systèmes de commandement et de

conduite (C2) des opérations de l'armée de l'air. Élément désormais incontournable des opérations en cours, fort de ses près de 100 000 heures de vol, le Rafale a encore devant lui de nombreuses années d'exploitation au sein de l'Armée de l'air. 📧

# MUSÉE AÉRONAUTIQUE & SPATIAL

Location de l'espace auditorium  
pour événements

UN ESPACE  
HORS DU COMMUN,  
ALLIANT HISTOIRE  
ET TECHNOLOGIE

ENTRÉE LIBRE ET GRATUITE

Renseignements :  
[www.museesafran.com](http://www.museesafran.com)

Tél. 01 60 59 41 66  
email : [info@museesafran.com](mailto:info@museesafran.com)  
Rond-point René Ravaud - 77550 Réau

Le mercredi de 9h à 12h et de 14h à 17h  
Le dernier samedi du mois de 14h à 17h  
Les autres jours : les visites en groupe  
sont assurées **sur rendez-vous**

Crédits photos : © Roberto Frankenberg / Safran, © Eric Drouin / Sncma / Safran,  
© Philippe Stroppa / Safran.



par **Bruno  
THOUVENIN,**

Contre-amiral

■ **COMMANDANT LA FORCE DE  
L'AÉRONAUTIQUE NAVALE  
(ALAVIA)**

Pilote de chasse embarquée en 1986, il a commandé la Flottille 17F (SEM). Pilote d'essais en 1992, il a œuvré aux développements de programmes aéronautiques et a été officier de programme du RFM, puis officier de cohérence des systèmes de forces à l'EMM, OCA Marine et sous-chef d'état-major « Plans et Programmes ». Il est ALAVIA depuis le 1<sup>er</sup> août 2014.



par **Michel  
WENCKER,**

IGA

■ **ADJOINT AU SOUS-CHEF  
D'ÉTAT-MAJOR « PLANS  
ET PROGRAMMES »**

Michel Wencker a dirigé le programme « Porte-avions Charles de Gaulle », avant d'être secrétaire du Comité ministériel d'investissement du Ministère de la défense puis sous-directeur de la politique d'exportation à la DGA. Il a rejoint le 15 juin 2014 l'Etat-major de la marine.

# LE RAFALE MARINE, UN AVION « COMBAT PROVEN »

Le Rafale marine (RFM) est un avion polyvalent, doté d'une grande polyvalence lui permettant de s'adapter à tout type de missions, qu'il s'agisse de supériorité aérienne, de pénétration et d'attaque au sol par tout temps, d'attaque à la mer, de reconnaissance tactique et stratégique ou de dissuasion nucléaire. Évoluer dans un environnement hostile et exigeant nécessite par ailleurs du pilote qu'il apprivoise le milieu maritime et maîtrise les tactiques du combat naval, en liaison avec le porte-avions et les frégates. Dans ce contexte et face à des menaces toujours plus imprévisibles, le binôme Rafale marine - « marins du ciel » a démontré qu'il peut évoluer avec endurance, autonomie et polyvalence, surpassant le Super-Étendard Modernisé (SEM).



Rafale M en sortie de pont du porte-avions en post-combustion

**A**u-delà des capacités de l'appareil acquises à sa conception, l'opération « Harmattan », menée en 2011 au-dessus de la Lybie, aura permis à la force de l'aéronautique navale de valider la maturité technique du Rafale marine (RFM), faisant de cet appareil un avion « Combat Proven » dont les capacités sont aujourd'hui uniques en Europe. Alors que le RFM au standard F3 effectuait sa montée en puissance au moment d'être engagé, il s'est révélé être au point dans son emploi en contexte opérationnel, permettant même de valider de nouveaux armements, comme le missile d'attaque au sol à longue portée SCALP-EG ou la bombe autopropulsée AASM avec extraction de coordonnées à partir du Pod Damoclès. Certains matériels et processus, comme la nacelle de reconnaissance RECO NG ou la liaison 16 pour la transmission de la situation « Air » entre les aéronefs, le groupe aéronaval et le *Combined Air Operation Center* (CAOC), ont également pu être utilisés dans un contexte d'opérations aériennes intenses, sur des objectifs définis. Plus récemment, le théâtre Irakien a d'ores et déjà éprouvé le RFM pour assurer des permanences (par relève) de l'ordre de la dizaine d'heures, afin

### « une vaste zone d'action et à plus de 600 nautiques d'un porte-avions »

d'effectuer le traitement d'objectifs d'opportunité, au-dessus d'une vaste zone d'action et à plus de 600 nautiques d'un porte-avions. Il a en outre permis d'effectuer de nombreux vols d'ISR (Intelligence Surveillance and Reconnaissance), dont le résultat est prisé par la coalition. Néanmoins, derrière cet aspect technique et opérationnel, la clé de ces succès reste avant tout le facteur humain, puisque le savoir-faire des pilotes et des techniciens valide à ces occasions le défi de la polyvalence. Le RFM présente donc de nombreux avantages techniques pour le pilote. Avoir un avion bimoteur apporte davantage de sécurité et rend les phases de catapultage et d'appontage plus sûres, les aides au pilotage et la manœuvrabilité de l'avion rendant quant à eux l'appontage moins difficile, en particulier de nuit, bien que l'exercice reste complexe. Dans le cockpit, l'adaptabilité de l'ergonomie, associée au confort de l'habitacle, sont des améliorations indéniables pour les vols longs et stressants.



Rafale M au catapultage, avec son armement

D'autre part, son autonomie et ses capacités d'emport, en armement et munitions, lui permettent d'inscrire dans la durée sa puissance de frappe. Il lui reste à acquérir la capacité de tir d'armement air - sol « bas coût », aujourd'hui portée uniquement par la GBU 49 sur SEM (qui sera retiré du service en 2016).

Au-delà de ces apports, les techniciens y ont aussi gagné en souplesse, avec la maintenance préventive et curative assistée par ordinateur. En permettant de localiser et de traiter rapidement les pannes, celle-ci réduit de fait les périodes d'immobilisation de l'avion et concourt donc à optimiser son emploi.

La Marine nationale poursuit activement la transformation du groupe aérien embarqué (GAé). Elle se dirige à l'été 2016 vers une entité redoutablement polyvalente et efficace, avec l'avènement d'un GAé « tout Rafale », ce qui entraînera une forte augmentation des capacités militaires offensives et défensives du groupe aéronaval, les RFM au standard F3 ayant inauguré une transformation radicale du chasseur de défense aérienne initial. En outre, avec une trentaine d'appareils d'un type unique à bord du porte-avions, il y aura davantage de souplesse dans la gestion des configurations pour les différentes missions, avec une augmentation de la disponibilité et une réduction des mouvements entre le pont d'envol et le hangar. En somme, une nouvelle ère s'ouvrira pour le système d'arme du porte-avions.

### Mémo programme du Rafale marine

Premier vol du M01, avion marine de développement : 1991. Premier appontage sur le Foch, le 19/04/1993. 58 avions prévus au programme en 5 tranches, dont aujourd'hui 48 ont été commandés et 41 ont été livrés (perte de 2 avions par la DGA en 2009 et de 2 avions par la Marine Nationale en 2010 et 2012).

Mise en service opérationnelle de l'avion du F1 : 2004 (version air - air), puis F2 (version air - sol) en 2008 et enfin F3 en 2009 (radar actif).

Les jalons prochains sont :

- F3R en 2018 avec la capacité METEOR, TALLIOS (nouveau pod de désignation laser) et une nouvelle nacelle de ravitaillement en vol, indispensable pour assurer l'autonomie du porte-avions ;
- F4 en 2023 dont les évolutions sont en cours de définition et de choix (viseur de casque, améliorations ergonomiques, armement air -sol, connectivité, guerre électronique) ;
- rénovation mi-vie en 2030 avec notamment la prise en compte des drones de combat.

### Retour d'expérience sur l'utilisation opérationnelle du Rafale marine

Les premières missions opérationnelles du RFM ont été faites en Afghanistan, avec notamment les premiers tirs de bombes dès 2007 et la première utilisation opérationnelle de la nacelle RECO NG en 2010. Durant l'opération « Harmattan » en 2011, au large de la Libye, des missions de reconnaissance de Rafale équipés du Pod RECO NG étaient planifiées deux fois par jour. Les avions, après avoir effectué leurs missions, commençaient à envoyer leurs recueils au porte-avions par transmission de données. Les premières images étaient donc analysées avant même que les avions n'aient apponté et pouvaient être transmises aux pilotes qui partageaient en mission de SCAR (recherche et destruction d'objectifs d'opportunité) dans les zones de prises de vues. Le traitement en boucle courte de ces images permettait ainsi aux pilotes de partir avec plus d'informations sur leurs zones d'opérations, voire de trouver plus rapidement d'éventuels objectifs d'opportunité. Les experts imageurs pouvaient également créer, après analyse fine des images recueillies et extraction des coordonnées puis vérification des potentiels dommages collatéraux, des dossiers d'objectifs pour les missions de bombardement planifié (ou Air Interdiction) les jours suivants. La mise en service du standard F2, puis F3, aura en outre permis la mise en œuvre du missile d'attaque au sol à longue portée SCALP-EG, dans deux raids nocturnes menés depuis le porte-avions au large des côtes libyennes contre plusieurs sites militaires situés à plusieurs centaines de kilomètres à l'intérieur des terres.

L'opération « Chammal » en 2015, au-dessus de l'Irak, a permis d'élargir encore le spectre des capacités du Rafale Marine en coopération avec d'autres aéronefs. En effet, par mauvaises conditions climatiques rendant difficile l'utilisation du Pod Damoclès, le RFM a tiré des munitions à guidage laser qui ont été illuminées par un drone jusqu'à l'objectif qui avait été assigné. Ceci illustre bien l'étroite coopération entre tous les acteurs aériens nécessaire sur un théâtre d'opérations. Enfin, grâce aux facultés de ravitaillement à partir de tous types de tankers, les vols peuvent durer plusieurs heures, optimisant encore la permanence sur zone en dizaine d'heures (playtime) avec un emport de munitions accru par rapport aux avions d'ancienne génération, et ce à plusieurs centaines de nautiques du porte-avions. 🌐



Rafale M sur le pont du porte-avions « Charles de Gaulle »

# TOUJOURS PLUS DE SÉCURITÉ

Leaders mondialement reconnus du secteur aéronautique et spatial et dotés des produits les plus innovants du marché – à l'image du H225M Caracal ultra-polyvalent – nous sommes dans une position idéale pour relever les défis qui se présentent et offrir à nos clients dans le monde entier des solutions qui répondent à leurs besoins en matière de sécurité. Rendez-vous sur [www.airbusgroup.com](http://www.airbusgroup.com)

**Airbus Group. We make it fly.\***

**AIRBUS**  
GROUP

\* Nous faisons voler.

## LES SYSTÈMES DE NAVIGATION IXBLUE

reposent sur l'expérience acquise et les savoir-faire développés par nos ingénieurs, depuis plus de 30 ans, dans les technologies des gyroscopes à fibre optique.



## GAMME COMPLÈTE DE SYSTÈMES DE NAVIGATION

pour la défense navale, sous-marine ou en surface, et pour la défense terrestre.





Pose d'une verrière sur un Rafale de l'armée de l'air sur la Base Aérienne 113 Saint Dizier.

# LE MAINTIEN EN CONDITION OPÉRATIONNELLE (MCO) DE LA FLOTTE RAFALE



par **Patrick ARMANDO**,  
IGA

■ **DIRECTEUR ADJOINT  
DE LA SIMMAD**

Patrick Armando a commencé sa carrière en 1980 au Centre d'essais aéronautique de Toulouse et a été notamment directeur de programme du Super Etendard modernisé et adjoint gestion au SPAé. Il a rejoint la SIMMAD le 1er septembre 2006 comme chef du service contrats finances, puis adjoint Industrie.

L'avion de combat Rafale est optimisé pour une activité moyenne comprise entre 250 et 300 heures de vol par an et par avion. Cette donnée dimensionne le soutien qu'il convient de lui consacrer afin que les pilotes puissent s'entraîner avec la qualité de formation et le niveau d'exigences requis, pour que les opérations militaires soient réalisées avec succès.

Or il suffit d'une pièce manquante, parmi les milliers de références du Rafale, pour obérer sa disponibilité et le clouer au sol. De plus, au retour de vols, il doit être capable de reprendre l'air « rapidement » ; la durée entre deux vols (inter-tour) est à maîtriser. Le diagnostic des pannes est essentiel.

Le fait de disposer de la bonne pièce au bon moment au bon endroit pour mettre en vol un Rafale est l'**objectif fondamental** de l'organisation du MCO, sous réserve que les faits techniques « graves » qui font peser un risque sur la sécurité des vols et où la mission soient traités, que la documentation avion soit à jour de la définition approuvée, que les effets d'usure soient corrigés, que les matériels disposent du potentiel technique requis. C'est la mission que la SIMMAD, maîtrise d'ouvrage déléguée, gestionnaire de biens, intégrateur de MCO, doit construire tout en permettant de disposer à tout moment des bons leviers d'action pour en maîtriser le coût.

**Un MCO découlant des principes constructifs originels et de l'emploi de l'avion, et du degré de maturité. Les enjeux**

Le Rafale, fruit de générations de savoir-faire français uniques dans le domaine de l'aéronautique de combat, bénéficie d'innovations technologiques majeures qui font ses performances, ainsi que d'un système de soutien ayant été encore plus soigneusement étudié que pour les générations précédentes. Les concepts de soutien sont étroitement liés aux technologies de construction, à leur degré de maîtrise scientifique en matière de comportement à l'endommagement, et au plan d'entretien, largement évolutif, dérivé de la nature de ces technologies, du domaine d'emploi, de la sévérité des missions.

A titre d'exemple :

- absence de visite d'entretien périodique préventif pour la cellule ;
- moteur modulaire ;
- gestion des pièces selon leur calcul et dimensionnement aux charges : fiabilité, limite de fonctionnement ...
- maintenance selon état : on attend la panne pour intervenir.

La flotte Rafale aujourd'hui a presque 15 ans d'exploitation opérationnelle ; la flottille des pre-

miers Rafale marine et les premiers avions au standard air ont d'abord permis un rodage du MCO ; puis les heures de vols accumulées ont permis d'atteindre un degré de maturité probant. Les processus et mécanismes entre acteurs - Industrie (NSI), utilisateurs (NSO) - sont désormais bien établis.

En 2008, la flotte est en montée en puissance au rythme des livraisons ; les escadrons se constituent ; l'apprentissage se fait ; la connaissance des fiabilités, des comportements réels se forge ; les mécaniciens sur le terrain apprennent le Rafale. L'activité aérienne est en pleine augmentation.

La LPM 2008 - 2013 dessine déjà le cadre budgétaire et fixe des objectifs de performances économiques. Des cibles de coût à l'heure de vol se dégagent. A l'évidence, la communauté aéronautique concernée est poussée par cette phase porteuse de « performance compétitive » ; des gains de productivité sont possibles, à condition de se montrer innovant, les données techniques étant celles qu'elles sont. Le système d'exploitation de la flotte Rafale doit être à coût objectif ; au fil des ans, il devra être de plus en plus efficient pour tenir les exigences de la LPM 2014 - 2019.

### **Dans ce cadre et pour relever ces défis, un système de MCO novateur. Le cahier de charges fonctionnel**

Dans ce contexte, l'équation est celle d'un système en dynamique croissante, où la meilleure disponibilité opérationnelle est recherchée, à coûts maîtrisés, avec une pérennité des solutions. Avec le Rafale, le MCO bascule dans une autre approche, avec des commandes à façon auprès d'une Industrie « fournisseur de moyens » : il doit apporter de la valeur ajoutée. Les destins de l'Etat utilisateur et de l'Industrie, conceptrice et réalisatrice des matériels, sont liés. Le MCO doit se montrer inventif à deux : Etat - Industrie. Des matériels qui dorment sur une étagère, des dépenses mal choisies sont contre-productifs.

L'Etat définit les compétences qu'il doit posséder pour être autonome selon les situations de guerre et les lieux d'exploitation : le NSO ; l'industrie a en charge, au titre du NSI, les opérations qu'elle seule peut réaliser, complétées potentiellement des actes de maintenance que les armées peuvent céder, car en dehors de leur cœur de métier ou jugés moins prioritaire.

La SIMMAD doit appréhender le réglage de son curseur : le bon degré d'intégration de MCO. Le

## **QUELQUES MOTS SUR LES TROIS MCO.**

### **Rafale Care**

Le principe de la forfaitisation à l'heure de vol était déjà connu ; toutefois, pour la cellule, ce n'est qu'en 2008, à l'issue d'une phase de 7 ans de maturité que ce modèle économique a pu être contractualisé : il fallait d'abord mieux maîtriser la connaissance des MTBF pour limiter les risques (risques industriels pour être sûr de pouvoir réaliser le + 15 % ; risques financiers ...). Ainsi le MCO cellule Rafale Care a vu le jour, avec une exigence de délais de réparations (TAT). En 2014, fort des acquis sur le MCO moteurs et les équipements B, le marché connaît un « rajeunissement » : introduction de l'exigence de disponibilité des OAE envoyés en réparations, et d'une « supply chain » externalisée automatisée puisqu'un forfait à l'heure de vol intègre les 23 000 nomenclatures de consommables inscrites au catalogue Rafale. Ce type de modèle où l'Industrie a une assiette de latitude élargie permet d'absorber des évolutions importantes : sans surcoût à l'heure de vol, les heures de vol ont pu être alignées à la baisse en conformité avec la LPM.

### **M88**

Le MCO « moteur » conditionne la disponibilité à travers les interventions liées aux inspections ou aux déposes, mais aussi les coûts, car du fait de son besoin d'entretien, la motorisation représente une part significative du coût du MCO des aéronefs.

Une part du MCO est générée par l'utilisation de pièces de rechanges tant au NSO dans les ateliers des forces qu'au NSI pour les réparations. Le modèle d'acquisition par bons de commande a laissé la place à un marché de service en disponibilité de pièces ; confiant à l'industrie les prévisions de consommation, les lancements en production, la maîtrise des dérives des coûts unitaires et les dérives de consommation. La disponibilité des pièces s'est grandement améliorée et ce modèle a permis de créer une communauté qui trouve son prolongement avec le plateau CICOMore qui, sous pilotage SIMMAD, coordonne les activités des industriels SIAé, de Safran/Snecma et des forces.

Pour le MCO du M88, le SIAé joue un rôle fondamental : il est le MOI pour la réparation des 20 modules « turbomachines » et du module 21, le calculateur.

Le MCO du moteur M88 est donc agencé autour de deux contrats essentiels :

- le réapprovisionnement en pièces de rechanges avec Safran/Snecma ;
- la réparation des 21 modules auprès du SIAé associant en sous-traitance Safran/Sagem et Snecma.

Il y a nécessairement une concertation avec le NSO dans la gestion des modules. Ce qui compte c'est de pouvoir reconstituer un moteur bon de vol à partir des modules disponibles. C'est pourquoi la logique de pièces disponibles va être étendue par la SIMMAD aux modules : le but n'est plus de faire faire des réparations, mais d'obtenir des modules disponibles selon besoin.

### **MCO des équipements B**

De façon itérative, après le MCO moteur, le MCO des équipements B a été élaboré dans la même logique.

Le marché MAESTRO notifié à THALES SA en 2011 permet d'assurer le MCO de l'ensemble des équipements B de conception THALES. Les guichets sur base gèrent les volants de rechanges d'URA (hors lot de projection) et les flux de réparation vers les différentes usines des entités du groupe. Ce marché prévoit intrinsèquement des mécanismes d'incitation à l'amélioration des équipements. Enfin, cette organisation contractuelle permet de réduire les délais d'acheminement ou de réparations entraînant un besoin moindre d'équipements dans le volant de fonctionnement. Il est complété d'un marché spécifique auprès de MBDA pour une partie de SPECTRA, et auprès de SAGEM pour les centrales inertielles.



Préparation d'un réacteur M88 avant sa pose sur un Rafale.

corollaire est le partage des risques entre Etat et Industrie, en bonne intelligence. Ceci signifie, en particulier, partager, voire pouvoir modéliser, la LOI du BESOIN : quelles quantités d'actes de maintenance ; quels risques ?

L'innovation, c'est aussi de savoir particulariser le MCO par domaine technologique en fonction de facteurs clefs ; c'est de définir le juste besoin ; c'est de faire évoluer d'un MCO de moyens à un MCO de service ajusté au besoin :

- regroupement des actes de maintenance au sein de contrats forfaitaires globalisés raisonnablement, à durée optimisée ;
- engagement de résultats en disponibilité/punctualité ;
- mécanismes de gouvernance ;
- optimisation et fluidification des interfaces entre acteurs.

Un élément fort d'évolution est celui relatif à la logistique : le MCO a évolué d'une logique de stocks à une logique de flux, dictée par l'évolution des menaces et sous pression économique, où l'amélioration de la chaîne logistique, « la *supply chain* », devient une exigence forte.

Cela nécessite de revoir le positionnement des acteurs, de faire intervenir l'Industrie sur un périmètre plus vaste afin de libérer des optimisations et in fine d'optimiser la disponibilité à coût maîtrisé.

### les solutions mises en place auprès de l'industrie et avec elle

La SIMMAD a construit son arborescence contractuelle auprès de l'Industrie en transposant celle ayant présidé à la réalisation du programme

Rafale : il s'agit d'appeler les compétences au bon endroit. Hors armement et équipements de missions, le MCO repose sur trois piliers essentiels (cf. encart n°1) qui représentent l'essentiel du dispositif (85 % des dépenses). Il porte des principes de fonctionnement contractuel nouveaux, qui sont venus bousculer les habitudes de travail. Les maîtres d'œuvre étatiques ont dû s'adapter et accompagner le « changement » afin de permettre aux nouveaux concepts de donner la pleine mesure de leur efficacité.

L'ingénierie de ces marchés de service est caractérisée par un mode de rémunération « à l'heure de vol », bien adapté à la phase de montée en puissance ; le principe est qu'à chaque heure de vol, il y a un « endommagement moyen » (des OAE tombent en pannes ; des rechanges sont consommés ...).

Ce type de rémunération permet de conserver une parfaite cohérence entre le besoin opérationnel et les capacités de financement des états-majors. Le fonctionnement du marché est

### Le CODIR Rafale : une gouvernance de haut niveau.

Le comité Etat - Industrie a été mis en place fin 2010. Il se réunit une fois par an (deux fois au début). Son objectif était la définition et le pilotage de haut niveau de plans d'actions destinés à améliorer la disponibilité opérationnelle de la flotte Rafale. Depuis sa mise en place, un certain nombre d'actions concrètes ont été mises en œuvre permettant une amélioration sur la durée de la disponibilité. Deux exemples :

- la mise en place de conseillers techniques dans le cadre d'un plateau technique à Saint-Dizier puis Mont-de-Marsan ;
- l'instauration du plateau intermédiaire Rafale pour coordonner, sous la houlette de la SIMMAD, l'action des industriels et des forces.

Les conseillers techniques ont eu deux champs d'action : aide au diagnostic de cas de pannes complexes permettant une remise en vol plus rapide des avions concernés ; actions de formation auprès des mécaniciens de l'Armée de l'air destinées à leur permettre d'appréhender avec davantage d'autonomie ce type de panne.

Le plateau intermédiaire Rafale a été créé en 2012 pour servir de forum d'échanges entre l'Etat et l'Industrie afin de coordonner les actions de tous les acteurs du MCO. Sa vocation première est de présenter mensuellement l'activité prévisionnelle à 3 mois des forces pour mettre en tension les guichets industriels en fonction des besoins de réactivité, d'alerter les industriels de difficultés techniques et logistiques rencontrées sous les avions ou dans les ateliers et d'élaborer des plans d'actions permettant d'éviter les effets négatifs sur la disponibilité de crises techniques ou logistiques. Après deux années d'existence, la preuve de l'efficacité de ce plateau a été démontrée.

« centré » sur le besoin planifié des forces (LPM/ VAR) exprimé au travers d'un nombre d'heures de vol à effectuer dans l'année. Les marges de fonctionnement (en général entre + 15 % et - 20 %) laissent suffisamment de souplesse pour pallier les évolutions dues à une accélération des opérations ou à une réduction (en dehors l'avenant reste toujours possible). Ce mode de rémunération forfaitaire incite l'Industrie à améliorer la fiabilité du matériel et celle du diagnostic : la rémunération étant forfaitaire, l'industriel a intérêt à limiter le nombre de retours pour panne. Ces améliorations se ressentent directement dans les forces, où la charge de maintenance qui pèse sur les techniciens diminue.

Sur le plan de la performance budgétaire de l'EPM, ce type de rémunération permet de disposer d'une relation quasi-univoque entre le besoin opérationnel et les besoins de financement des états-majors.

Ce mode de rémunération, utilisé seul, n'aurait pas permis d'atteindre la performance recherchée. Ces marchés de service passent d'une logique d'en-cours maximal chez l'industriel ou de délai de réparation maximal (TAT) à une logique d'engagement de performance en disponibilité. Au lieu d'attendre les commandes de l'Etat, l'Industrie les anticipe pour pouvoir y répondre dans des délais contraints. Dès qu'un besoin local se déclenche, l'industriel doit fournir la pièce rapidement (1 à 4 jours ouvrés) au point d'emploi. Pour ce faire, beaucoup de leviers, notamment logistiques, lui ont été donnés. Ceci se traduit par la mise en place au plus près des utilisateurs de guichets, armés par l'Industrie, incitée à diminuer le flux de retour des matériels dans ses usines pour ne pas tarir les rechanges susceptibles d'être fournis aux ateliers étatiques. Ces marchés globaux rémunérés à l'heure de vol permettent d'enclencher un cercle vertueux où tous les acteurs sont gagnants : des flux moindres améliorent le modèle économique et réduisent d'autant la charge de maintenance qui pèse sur les techniciens en unités.

L'Etat n'achète plus de façon patrimoniale des rechanges ; il a externalisé dans le principe la majorité de la « Supply Chain ». Une loi de besoin est déposée sur la durée du marché. Ce partenariat est inscrit dans la durée : 10 ans sont contractualisés avec une tranche ferme de 5 ans afin de permettre à l'Industrie de s'organiser, de sceller des contrats de sous-traitance, de permettre au Maître d'œuvre Industriel de jouer son rôle, de permettre des investissements qui seront



Dans le cadre de la maintenance, un technicien consulte la documentation électronique du Rafale.

amortis, de décider des améliorations de fiabilité ou de Plan Recommandé d'Entretien qui auront un retour sur investissement.

Le retour sur investissement pour l'Etat est très fort puisque le coût du MCO est diminué de façon non marginale, parfois 30 % à terme. Chacun des trois contributeurs a ainsi atteint la cible dans une démarche de « conception du MCO à coût objectif » imaginée par la MMAA en 2007.

### La mobilisation au sein de l'Armée de l'air

La mise en vol d'un système d'arme complexe comme le Rafale est le résultat des actions coordonnées de l'ensemble des acteurs. Après une période difficile où la disponibilité n'était pas au niveau des attentes initiales, c'est toute la chaîne qui a œuvré pour trouver les solutions nécessaires à la remontée.

En particulier, l'Armée de l'air s'est approprié le concept de maintenance selon état et a optimisé l'organisation de ses ESTA. La différenciation entre les chantiers longs planifiés à l'avance et les chantiers courts, réduits au minimum pour permettre le retour des avions en ligne le plus vite possible, a été un des facteurs de succès. Elle a permis aussi d'accélérer, sur les chantiers longs, l'introduction de modifications améliorant la fiabilité. Une coordination plus étroite entre les opérationnels et les techniciens a été l'autre facteur de réussite. La disponibilité moyenne en 2014 a augmenté de manière significative, le nombre de pièces critiques est en nette diminution (- 15 % sur un an). L'ensemble de ces actions a permis de gagner entre 20 et 30 % d'activité.

La Marine nationale a également bénéficié de la dynamique instaurée par les CODIR Rafale et

#### Glossaire

<b>EPM</b>	Entretien Programmé du Matériel
<b>ESTA</b>	Escadron de Soutien Technique Aéronautique
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failure
<b>NSI</b>	niveau de soutien industriel
<b>NSO</b>	niveau de soutien opérationnel
<b>OAE</b>	organes, accessoires, équipements
<b>URA</b>	Unité remplaçable en atelier
<b>URL</b>	unité remplaçable en ligne
<b>TAT</b>	Turn Around Time

les plans d'actions. Si la problématique de formation était moins prégnante à cause de son statut de précurseur et du fait de sa taille plus modeste, les travaux de réduction de la charge de maintenance, en particulier sur les tâches préventives sur la cellule (lutte contre la corrosion par exemple) ou sur le moteur M88, ont permis de retrouver une activité normale de maintenance lors des embarquements sur le Charles de Gaulle.

**Le MCO ne doit pas être considéré comme un simple service : c'est une science. Il nécessite une forte ingénierie, par exemple pour réduire le nombre de pannes non confirmées comme cela vient d'être le cas sur les calculateurs du M88. Réaliser l'activité aérienne nécessite une ingénierie du MCO ; réaliser l'activité avec une disponibilité optimale nécessite une ingénierie de la disponibilité portée par la communauté du soutien. C'est dans cette logique que la SIMMAD a œuvré pas à pas. Il convient d'optimiser le NSO, le NSI et les interfaces. Dans cette optique, la maîtrise des données constitue très certainement le prochain défi qui permettra la définition et la mise en place de nouveaux concepts de maintenance.** ☺

# ENJEUX ET DÉFIS DE LA FORMATION DES PILOTES DE CHASSE

Former, c'est d'abord et surtout préparer l'avenir. Former, c'est transmettre des compétences. L'enjeu de la formation des pilotes de chasse de l'Armée de l'air est donc de parvenir à transmettre des compétences maîtresses et stratégiques, en étant sûr que le niveau délivré correspond à ce qu'attendent les unités de combat, sans toutefois pouvoir s'appuyer sur des moyens infinis, ni en temps, ni en finances.

Le projet Cognac, et le programme d'armement corollaire FoMEDEC, est un projet innovant qui permettra à l'Armée de l'air de moderniser et d'optimiser la formation des équipages « chasse » en l'adaptant aux technologies des avions de chasse modernes, tel que le Rafale, avec un très haut niveau d'ambition tout en étant source d'économie et en réduisant la durée de formation.

## Qu'est-ce qu'un pilote de chasse aujourd'hui ?

Comme ses glorieux anciens, le pilote de chasse d'aujourd'hui et de demain devra savoir maîtriser une machine d'une puissance extrême, exigeant



Le cockpit du Rafale



par **Olivier LE BOT,**

Lieutenant-colonel

**OFFICIER DE COHÉRENCE  
D'ÉTAT-MAJOR BUREAU  
PLANS DE L'ÉTAT-MAJOR  
DE L'ARMÉE DE L'AIR**

Olivier Le Bot (EA95) est pilote de chasse et totalise 2 500 heures de vol et 127 missions de guerre. Après avoir commandé l'Ecole de Transition Opérationnelle (formation au combat aérien des pilotes de chasse), il est officier de cohérence en charge de l'expertise dans les domaines de la simulation et de la formation des pilotes de chasse.

rigueur, dextérité, discernement, adaptabilité, des capacités aigües d'anticipation et de décision et un sang-froid à toute épreuve afin de réagir rapidement et faire face aux aléas et dangers de la troisième dimension.

Au-delà de ces capacités, il devra également être un « manager de système d'armes », capable d'intégrer et de synthétiser un volume toujours plus important d'informations afin d'analyser en permanence et avec sagacité des situations tactiques complexes, et ainsi être en mesure d'adapter le déroulement de sa mission en vue d'atteindre les objectifs assignés.

L'outil de formation doit absolument combiner le développement de cette dualité, de ces deux visages indissociables du pilote de chasse, en particulier pour les pilotes de Rafale, un système omnirôle<sup>1</sup> et en constante évolution, ce qui nécessite des compétences toujours plus pointues, dans l'ensemble des missions à conduire par les équipages Rafale. Ce contexte, auquel s'ajoutent les

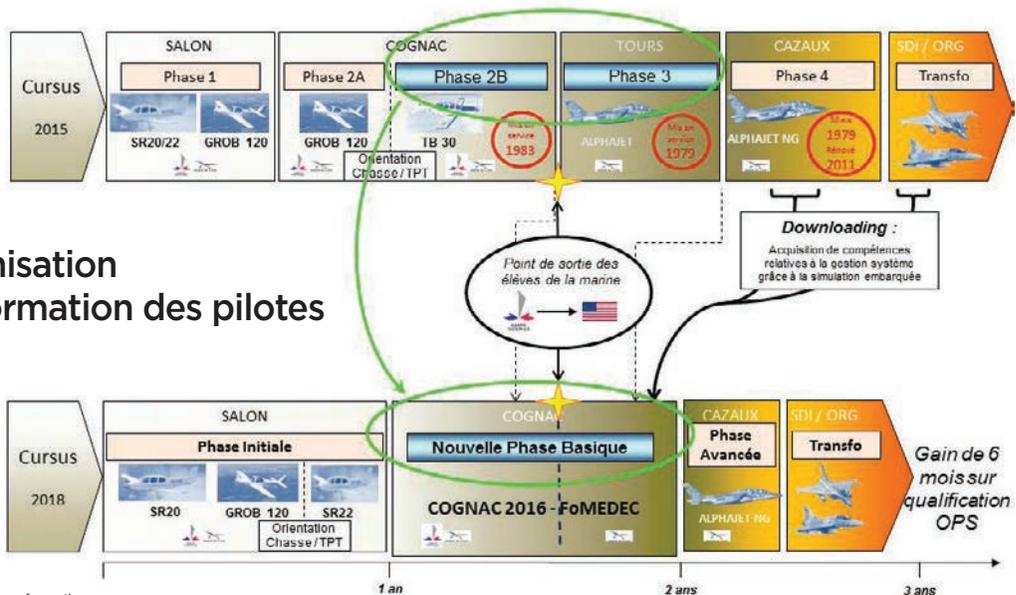
contraintes de plus en plus drastiques sur la durée et le coût de la formation, est à l'origine du défi posé à l'Armée de l'air de moderniser et adapter la formation des pilotes de chasse.

## **Cognac, un projet permettant de moderniser et pérenniser la formation des équipages « chasse »**

La formation basique des pilotes de chasse est aujourd'hui réalisée en deux temps. La première partie, appelée « pré-spécialisation chasse », a lieu sur la base aérienne de Cognac, sur TB30 Epsilon, tandis que la seconde, dite « spécialisation chasse », s'effectue sur les Alphajet qui équipent la base aérienne de Tours.

L'Epsilon et l'Alphajet accusent leur âge. A l'horizon 2016, les TB30 seront en service depuis 30 ans, les Alphajet de l'Ecole de Chasse depuis 35 ans, et surtout, sans amélioration significative de leurs systèmes. Ces appareils ne sont plus adaptés à la formation d'équipages

## Modernisation de la formation des pilotes



La planche de cursus formation

qui mettent en œuvre des appareils de dernière génération comme le Rafale. En effet, l'absence de système de mission moderne ne permet pas l'acquisition précoce des compétences pourtant indispensables à la gestion de systèmes complexes.

La vision **Cognac** s'inscrit ainsi dans une démarche de refonte globale de la formation des équipages de l'Armée de l'air, qui vise à optimiser leur adaptation aux appareils de dernière génération. Elle s'appuie notamment sur l'acquisition d'un avion de formation doté d'une avionique moderne, dont les systèmes intégrés de gestion de mission répondent aux mêmes logiques que ceux des chasseurs de première ligne. Il en découlera un cursus de formation nouveau, dans lequel l'apprentissage simultané des manœuvres du vecteur et de son système, la part accrue de la simulation, au sol et embarquée, et le concept de *downloading*<sup>2</sup> permettront d'élargir le périmètre de la formation tout en réduisant le volume d'heures de vol total à réaliser.

Ce nouveau programme permettra de mieux préparer les pilotes de chasse à leur futur environnement, de réduire la durée de leur formation d'environ six mois grâce à la fusion de deux phases en une. L'apprentissage, aujourd'hui réalisé sur deux types d'avion différents, se fera sur un seul aéronef à l'avionique beaucoup plus moderne.

### Un système de formation modernisé ouvert aux coopérations internationales

Fort de l'expérience franco-belge réussie d'AJeTS<sup>3</sup> et de multiples actions bilatérales, le projet **Cognac** sera naturellement ouvert à plusieurs formes de coopérations. La future école aura, en effet, vocation à former des pilotes de chasse au profit de nos partenaires européens, renforçant l'Europe de la défense et l'interopérabilité de nos armées de l'air, mais aussi d'autres nations souhaitant bénéficier du savoir-faire français en la matière, voie d'entrée privilégiée pour un éventuel emploi d'équipements français au sein de leurs armées de l'air.

### Un projet permettant la mise en place de la différenciation de l'entraînement au travers d'un deuxième cercle de pilotes de chasse

Dans un cadre budgétaire toujours plus restreint, il faut également relever le défi de disposer d'équipages en nombre suffisant tout en ayant la capacité de leur fournir un niveau d'entraînement à même de garantir une extrême réactivité et un haut niveau de performance<sup>4</sup>. Face à un format de l'aviation de chasse en forte réduction, la différenciation de l'entraînement apparaît comme le seul moyen de respecter ces exigences afin de permettre à l'Armée de l'air d'être en mesure de remplir ses contrats opérationnels. Ainsi au-delà d'un « premier cercle » de pilotes immédiatement

employables dans tout le spectre des opérations, un « deuxième cercle » de pilotes s'appuyant sur un entraînement régulier sur avions d'armes et sur des moyens de substitution (avion de complément, simulation) suffisamment évolués, sera capable de rapidement monter en puissance. Ce deuxième cercle pourra suppléer le premier pour certaines missions, notamment dans les opérations dites de « faible intensité », conférant à l'Armée de l'air la capacité à durer et à intervenir sur plusieurs théâtres simultanément.

### Un projet vertueux qui répond aux défis de la formation des pilotes de chasse

Extrêmement novateur et audacieux, le projet **Cognac** répond donc à de multiples enjeux. Il modernisera et améliorera la formation des pilotes de chasse, pour un coût moindre, et offrira à la France des opportunités de coopérations internationales en proposant une alternative attractive et de haut niveau pour les pilotes étrangers. Il permettra également de mettre en œuvre les principes d'entraînement différencié, avec la création d'un deuxième cercle de pilotes de chasse, rendant possible le respect des contrats opérationnels de l'Armée de l'air dans le cadre du format de l'aviation de chasse défini par le Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale et en diminuant le coût du maintien des compétences de ses équipages. 🌐

1) Le Rafale est capable de réaliser des missions de défense aérienne, de dissuasion nucléaire, d'assaut conventionnel, de délivrer des armements guidés laser, guidés GPS ou des missiles de croisière et d'effectuer des missions de reconnaissance.

2) *Downloading* : démarche technico-pédagogique qui permet à l'élève pilote d'acquiescer sur un avion de formation, des compétences jusqu'alors développées sur avion d'armes (rapport du Centre de recherche de l'Armée de l'air (CReA) « Optimisation de la formation du pilote de combat par downloading », par Julien Donnot et Vincent Ferran).

3) AJeTS « Advanced Jet Training School » : école franco-belge de formation des pilotes de chasse créée en 2004. Cette école est également ouverte aux autres nations européennes ; au-delà des pilotes belges, elle accueille notamment des pilotes Anglais, Italiens et Allemands.

4) Sans un entraînement adapté, au minimum de 180 heures de vol complétées par 70 heures de simulateur, par équipage « chasse » et par an, l'Armée de l'air ne serait pas en mesure de répondre aux multiples sollicitations avec la réactivité et l'excellence attendues, comme l'ont démontré les derniers engagements en Libye, au Mali ou en Irak.



Ravitaillement en vol par un C135 ravitailleur d'un avion Rafale entre N'Djamena au Tchad et un objectif ciblé au Mali.  
© Armée française - opérations militaires OPEX.

# LE RAFALE EN STAGE OPS

## UN JEUNE IA À SAINT DIZIER



© 1/7 « Provence »

Le blason de l'escadron 1/7 « Provence » regroupe les symboles des trois escadrilles qui le composent : Spa 15, 77 & 162.

**D**e la promotion 2010 de l'Ecole Polytechnique, j'ai intégré le corps de l'Armement en 2013. Ma passion pour les avions a guidé mon début d'orientation professionnelle ; c'est à Istres, au Centre d'Essais en Vol, dans le cadre du développement de l'avion de combat Rafale, que j'ai la chance d'effectuer mon premier poste en septembre 2015. Actuellement, je réalise un stage opérationnel de trois mois sur la base de Saint-Dizier. J'ai l'honneur d'être accueilli par escadron 1/7 « Provence » pour appréhender le Rafale, ses systèmes et les équipes qui l'entourent. Dans ce cadre, j'ai eu l'opportunité de partir à N'Djamena au Tchad en

opération extérieure sur une courte période. Au sein du détachement chasse, il m'a ainsi été possible de découvrir le milieu opérationnel jusqu'à l'ultime jalon.

Le contexte d'opération au Tchad est celui de l'opération Barkhane opérant sur la bande Sahélo-Saharienne (« BSS »). Les pays compris par cette désignation territoriale s'étendent de la Mauritanie au Tchad, en passant par le Mali et le Niger. Cette vaste région géographique hérite de l'histoire millénaire des tribus nomades. Pour les pilotes de l'Aéropostale des années 1930 qui survolaient ces territoires, il n'était pas rare qu'un moteur capote au dessus du désert. Tombés entre les mains d'une caravane, ces pilotes devenaient une monnaie d'échange de choix. Mermoz lui-même compte parmi l'un de ces otages.

Aujourd'hui, les groupes armés agissant au nom d'Allah ont probablement perdu les lettres de noblesse que leur adressait Saint-Exupéry dans ses écrits. Un vent d'idéologie se répand dans les communautés religieuses. Il souffle sur les corpuscules armés et les rallie sur son passage à la guerre qu'ils mènent contre l'Occident. En quête de reconnaissance et de financements, ces hommes endoctrinés prêtent allégeance à l'Etat Islamique récemment autoproclamé au Levant.

### A mille milles de tout MCO

Un pilote de chasse égaré au milieu de ces contrées n'a plus la même valeur marchande que les pilotes des années 1930. Le meurtre médiatisé, en janvier 2015, d'un pilote Jordanien éjecté en Syrie fournit un triste aperçu de la politique que mènent ces extrémistes religieux. Les hommes, dans leur avion, volent au-dessus de territoires hostiles. Ils sont conscients des risques que procure une évacuation d'urgence. Ainsi emportent-ils pour se défendre un pistolet automatique et deux chargeurs, une ration de combat pour se nourrir et de la monnaie sonnante et trébuchante pour négocier leur passage. Mais la possibilité d'une éjection n'est à envisager qu'en dernier recours. Le sol qui défile au-dessous d'eux appartient à un monde qui n'est pas le leur. C'est l'excellente fiabilité des moyens techniques mis à leur disposition qui permet aux pilotes de guerre d'accepter psychologiquement la réalisation d'une mission.

De la Base de N'Djamena, des Rafale décollent tous les jours pour des missions diverses dans la « BSS ». Une préparation minutieuse des équipes, des équipements et des équipages accompagne chaque décollage. La rapidité de l'action est cadencée par l'opérabilité des systèmes et la compétence des hommes qui les mettent en œuvre.



par **Michael de BELLEFON, IA**

En opération extérieure, le temps est au service de l'action. Il n'est pas de place à l'improvisation. Une défaillance technique est catastrophique car elle peut mettre en jeu le succès de l'opération, ou pire, la vie de cinq hommes dans un ravitailleur ou de deux hommes dans le Rafale.

La réussite d'une mission est l'héritage du succès de la France. Succès scientifique au service de la capacité technique, succès industriel qui opère la réalisation technique et succès étatique qui réalise au quotidien l'entraînement de l'armée sur son territoire. Bien sûr, à chacune des étapes de la chaîne de réussite, la France emploie les efforts d'hommes (et de femmes) qui s'impliquent dans l'action, souvent par passion et patriotisme.

L'humain a ses propres limites. Il est probable qu'aujourd'hui ce ne soit plus la technologie de la machine qui limite une opération mais bien l'homme, au contact avec les systèmes sophistiqués mis en place.

Le développement du Rafale consiste en l'incorporation dans l'avion de moyens techniques de plus en plus performants tels que le radar, les différents systèmes optroniques, le système de guerre électronique, ou encore la capacité de tir

d'armements complexes. L'enjeu est de conserver une accessibilité opérationnelle des systèmes acceptable par le pilote. Le dialogue entre l'ingénieur et le pilote n'a jamais été aussi important que pour développer des outils d'interaction et d'interface efficaces entre l'homme et son environnement machine.

Au cours de mes futures années au Centre d'essais en vol, je suppose qu'une difficulté majeure sera l'adaptation de langage entre mes interlocuteurs industriels et militaires. La DGA est bien au service des armées ; c'est à l'ingénieur qu'incombe la responsabilité d'adapter les remarques des utilisateurs aux innovations techniques des constructeurs. Avoir appréhendé l'Armée de l'air de l'intérieur pendant une courte période me permet d'être moins analphabète dans la lecture des codes inhérents à la culture d'un escadron et aux problématiques liées aux opérations extérieures.

Le stage opérationnel au sein de l'Armée de l'air m'a enseigné l'essentiel en un mot : les hommes. En effet, ce sont des hommes qui mettent en œuvre les systèmes et ce sont en-



© photo de l'auteur

Je remercie les personnels de l'escadron 1/7 « Provence » pour le temps qu'ils ont su m'accorder, me faisant découvrir l'environnement Rafale jusque dans des missions d'entraînement.

core des hommes qui utilisent ces systèmes. L'état d'esprit des équipes et des équipages conditionne les équipements. Bien sûr, la technique et la technologie sont au service de l'efficacité de l'action ; mais la clé de l'action demeure les hommes. 🐘

- Découpe/Usinage Jet d'Eau 3D
- Perçage
- Décapage
- Décochage & Dénoyautage
- Ebavurage
- Autofrettage

# AQUARESE

HIGH PRESSURE PROCESSES

## Spécialiste des Procédés Haute-Pression












Aéronautique

Défense

Energie

Automobile

Nucléaire

- ⊗ R&D Procédés
- ⊗ Atelier de Sous-Traitance 24/7
- ⊗ Constructeur de Machines
- ⊗ Services

Aquarese Industries S.A. - Tél. : +33.3.21.74.91.00 - [commercial@aquarese.fr](mailto:commercial@aquarese.fr)





# L'ISAE-SUPAERO - UN INSTITUT EN MOUVEMENT

L'ISAE - SUPAERO, produit du rapprochement de SUPAERO et de l'ENSICA, est une référence mondiale pour l'enseignement supérieur et la recherche dans les domaines de l'aéronautique et de l'espace. Parmi ses principales caractéristiques : des formations d'ingénieur « architecte système » au meilleur niveau mondial ; une recherche de renommée internationale et en forte croissance ; des partenariats avec les plus grandes universités étrangères ; une coopération très étroite avec les entreprises du secteur aérospatial.



Nouvelle entrée du campus Sup Aéro en septembre 2015



par **Olivier LESBRE**, IGA

**■ DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'INSTITUT SUPÉRIEUR DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE (ISAE) À TOULOUSE**

Après un début de carrière à la DGA, Olivier Lesbre a été directeur adjoint du programme d'avion de transport Airbus A 400 M à l'OCCAR, puis Attaché d'armement à l'Ambassade de France à Londres (de 2006 à 2009), et directeur de l'établissement DGA - Maîtrise de l'information (ex CELAR). Il a ses fonctions à l'ISAE en septembre 2014.

## Leader mondial de l'enseignement supérieur pour l'ingénierie aérospatiale

Dans le domaine de la formation, l'ISAE - SUPAERO est le leader mondial de l'enseignement supérieur appliqué aux domaines aéronautique et spatial. Il propose une palette exceptionnelle de formations de haut niveau scientifique et technique : 2 formations d'ingénieurs dont SUPAERO, 3 diplômes nationaux de master, 18 masters spécialisés, 5 masters recherche, et 6 écoles doctorales, ce qui lui permet de décerner chaque année près de 700 diplômes de niveau master ou supérieur à ses 1 700 étudiants, dont près de 30 % d'étrangers. Ce leadership, qui remonte à la fondation en 1909 de la première école d'ingénieurs aéronautiques au monde par le colonel Roche, constitue pour nous un atout pour attirer les meilleurs étudiants nationaux et étrangers, mais en aucun cas un acquis. C'est pourquoi nous adaptions en permanence nos formations aux besoins des entreprises, futurs employeurs de nos diplômés. Nous venons en particulier de refondre la formation ingénieur ISAE - SUPAERO, qui débutera dans son nouveau format à la rentrée de septembre 2015 (voir encadré 1). L'objectif est clair : former des ingénieurs capables

de mener les grands projets aérospatiaux de demain, dans la lignée de ceux qui ont conçu et fait voler Caravelle et Concorde, Airbus et Ariane, Mirage et Rafale ces dernières décennies. En tant qu'école d'application de l'Ecole Polytechnique nous sommes également attachés à adapter notre offre à la fois aux exigences des industriels et de la DGA (pour la formation spécifique des ingénieurs de l'armement) et aux aspirations des élèves polytechniciens (voir encadré 2).

## Une recherche d'avenir, en prise directe avec l'industrie

Dans le domaine de la recherche, le foisonnement des travaux est tel que je ne peux que le survoler. Mais les indicateurs sont là, excellents. Nous affichons en particulier une croissance très forte du chiffre d'affaires direct de notre recherche qui a progressé de près de 30 % en 2014. La reconnaissance des travaux de nos équipes de recherche se traduit désormais régulièrement par la signature de nouvelles chaires dans des domaines porteurs d'avenir. Ce fut le cas en 2014 avec la société Nuclétudes à propos de l'« impact de l'environnement radiatif sur la conception des systèmes spatiaux », mais également avec l'assureur AXA sur le thème de la « neuro-ergonomie et facteurs humains pour la



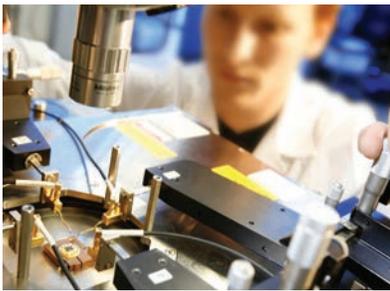
Banc turboréacteur DGEN-380



Élèves Sup'Aéro en amphithéâtre

sécurité aérienne ». Au début de l'année 2015, nous avons signé avec l'École Polytechnique, BNP Paribas et Zodiac Aerospace une chaire sur l'innovation technologique et l'entrepreneuriat, ce qui porte à 8 le nombre de chaires actives à l'ISAE - SUPAERO. D'autres partenariats devraient être conclus dans les mois qui viennent.

### Des moyens de recherche parfois uniques en Europe



La recherche à l'ISAE

Sur le plan des infrastructures, l'ISAE - SUPAERO s'est engagé dans un regroupement géographique de toutes ses activités sur le campus de Rangueil à Toulouse. Cette opération qui aura mobilisé près de 100 M€ d'investissement verra son aboutissement en septembre 2015. Il permettra à nos quelque 1 700 étudiants (dont 30 % de nationalité étrangère), à nos enseignants chercheurs et à nos personnels de vivre sur un campus en grande partie rénové aux meilleurs standards internationaux. Ce campus dispose également de moyens de recherche remarquables et pour beaucoup uniques en Europe, comme un banc turboréacteur ou une soufflerie dédiée aux micro-drones, et très bientôt une nouvelle soufflerie aéroacoustique. Des formations de haut niveau scientifique adaptées aux besoins des industriels, une recherche dynamique dans des secteurs porteurs d'avenir, des infrastructures à la pointe de la modernité : l'ISAE - SUPAERO est en mouvement et consolide sa place de leader mondial de l'enseignement supérieur pour l'ingénierie aérospatiale. 📍

### Nouvelle formation ingénieur SUPAERO : des élèves acteurs de leur propre formation

L'organisation du nouveau cursus vise à répondre aux besoins des employeurs qui veulent des ingénieurs aptes à gérer la complexité technique et managériale tout en évoluant dans un environnement instable. Le « conseil industrie » de l'Institut nous permet de discuter avec les professionnels du secteur afin de prévoir ses évolutions futures, ce qui nous a conduits à adapter l'ensemble de nos formations. Nous mettons ainsi l'accent sur la pédagogie par projet qui impacte l'ensemble du cursus ingénieur. Le projet de première année est destiné à développer la créativité et la capacité à innover des élèves ; celui de deuxième année est centré sur la découverte du monde de la recherche. En troisième année, le projet de fin d'études ouvre sur le monde professionnel et la conduite de projet. Nous allons offrir aux étudiants un plus grand éventail de choix, qu'il s'agisse d'approfondissement d'une discipline scientifique ou de maîtrise d'un domaine d'application. Des parcours renforcés sont proposés dans les domaines de la recherche, de l'international ou de l'entrepreneuriat, avec plusieurs possibilités de doubles diplômes. Nous soutenons également ceux qui veulent prendre une année de césure pour élargir leur expérience, ce qui leur permet souvent de faire mûrir considérablement leur projet personnel et professionnel. Nos ingénieurs seront donc les acteurs de leur propre formation et auront à l'issue des profils plus variés, ce qui correspond au souhait des industriels.

### X - SUPAERO : la maîtrise de l'approche « systèmes »

L'objectif de l'ISAE - SUPAERO comme école d'application de l'X est d'utiliser le bagage scientifique acquis durant la formation initiale à l'X au service du génie aéronautique et spatial. Il s'agit de montrer comment la mécanique des solides et des fluides peut être utilisée pour concevoir la structure et les gouvernes d'un avion, comment la thermodynamique peut être utilisée pour concevoir un réacteur d'avion. Il s'agit aussi de maîtriser les bases de la théorie des systèmes (automatique, traitement du signal, informatique, télécommunications ...) qui sont maintenant très utilisées dans ce secteur industriel, en interaction constante avec les disciplines physico-mécaniques. C'est l'approche « système » qui permettra au chef de projet de déterminer qualitativement quelles seront les performances d'un nouveau véhicule, quels seront les compromis déterminants pour la réussite d'un nouveau projet. Pour atteindre cet objectif et rester au centre de ce transfert entre monde académique et monde industriel, l'ISAE - SUPAERO a bâti un programme d'enseignement qui s'appuie sur une participation très importante d'intervenants industriels (Airbus, EADS, Dassault Aviation ...) et des laboratoires et agences de recherches (ONERA, CNRS ...). Cela garantit un enseignement en constante adéquation avec les derniers résultats scientifiques et les nouvelles problématiques soulevées par les industriels. Il est également possible pour les élèves polytechniciens de construire des parcours orientés recherche, international ou entrepreneuriat.

### Programme RAFALE - Les ingénieurs de DASSAULT AVIATION diplômés de SUPAERO qui ont eu un rôle de tout premier plan dans le programme RAFALE sont les suivants :

- *X-SUPAERO Investisseur & Actionnaire principal :*
  - Monsieur Serge DASSAULT
- *Responsables Techniques de Programmes, Chefs d'Avion :*
  - Jean-Claude HIRONDE (68)
  - Lionel de la SAYETTE (79)
  - Didier GONDOIN (77)
  - Nicolas MOJAIISKY (81)
  - Eric BOUCHE (86)
- *Ingénieurs d'essais en vol :*
  - Patrick CASTAGNOS (77)
  - Paul MUSTACCHI (80)
  - Pierre Cyril DELANGLADE (84)
- *Directeur Commercial France :*
  - Claude DEFAWE (76)

On estime à environ 500 ingénieurs SUPAERO ou ENSICA ont été impliqués dans le programme RAFALE depuis les premiers avant projets jusqu'à nos jours.

## 1915

### L'histoire débute

Marcellin AURIOL, compagnon du devoir et forgeron, crée les ATELIERS DE LA HAUTE GARONNE (AHG). L'entreprise est mobilisée au titre de l'effort de guerre pour la production de charnières de mitrailleuses.

## 1920

### La vision

A la fin de la guerre, AHG se met en quête de nouveaux débouchés pour maintenir l'activité. L'entreprise se lance dans la fabrication de martinets, cintreuses et autres machines destinées à la ferronnerie. Sensible à l'innovation et aux perspectives qu'elle promet, Marcellin AURIOL est interpellé lors d'une visite de foire-exposition par une machine suédoise avalant du fil métallique d'un côté et recrachant des rivets de l'autre. Conquis par la technique, il en achète deux et débute avec son fils Eloi la fabrication de rivets.

## 1950

### L'envol

Tout juste arrivé dans l'entreprise, Jean Marc AURIOL, fils d'Eloi, assiste à la mise en place de la collaboration avec Dassault aviation. Avec ces premières certifications démarre la production de rivets destinés à l'aéronautique. AHG devient en quelques années le premier producteur français de rivets pour avions.

## 1960

### Une innovation au service de la performance

Constamment soucieux de suivre l'évolution technique et de relever les nouveaux défis que présente le secteur aéronautique, la société AHG remplace les rivets en alliage monel par des rivets en titane brevetés dans la cadre du programme de développement du légendaire Concorde. Au-delà de la rupture technologique opérée, ce travail de recherche et développement permet d'alléger l'avion de 300 kg. Il initie la collaboration d'AHG avec l'Aérospatiale, société qui donnera naissance au groupe AIRBUS. Jean Marc Auriol développe la commercialisation en France, en Europe et aux États Unis.

## 1984

### La conquête de l'Ouest

Conscient des enjeux du marché, AHG s'élançait à l'export international. Après de nombreuses années de persévérance, d'amélioration continue, de brevets et d'innovations, AHG voit enfin son savoir-faire reconnu outre-Atlantique et ses efforts récompensés par l'obtention de la première qualification chez BOEING. Parallèlement, AHG continue de répondre aux besoins de ses partenaires historiques dans le cadre du développement de nouveaux programmes. AHG dépose ainsi en 1986 un brevet pour une fixation conçue spécifiquement pour l'avion de chasse Rafale : Fybrfast®

## 2004

### Une recherche toujours en pointe

Depuis les années 2000 et en raison de l'accroissement des demandes particulières d'application, AHG entame une mutation de sa structure en investissant dans le domaine de la recherche et développement et de la visserie aéronautique. Une nouvelle organisation voit le jour avec la création d'un département dédié à la R&D et d'unités de production de fixations filetées. En parallèle, AHG met au point de nouveaux produits spécifiquement adaptés aux structures composites, tels que : FybrFlush®, FybrComp®, FybrLoad®. AHG conçoit également deux fixations temporaires qui permettent à ses clients d'assurer un meilleur rendement sur leurs chaînes de montage : Hi-Clamp® et Sertibolt®. AHG devient le 1<sup>er</sup> producteur mondial de rivets pleins.

## 2015

### Un futur en marche

Afin d'affirmer sa position de producteur mondial sur le marché de la visserie aéronautique, la société AHG augmente de 2000 m<sup>2</sup> sa surface de production dédiée. En plus de l'investissement réalisé sur ses sites de production de Tanger et Casablanca, AHG étoffe son infrastructure par la construction d'un site logistique de stockage de 1800 m<sup>2</sup> : LOMAG. Avec un siège social basé à Flourens, à proximité de Toulouse, les Ateliers de la Haute-Garonne conçoivent et fabriquent les éléments de fixations permettant d'assembler les structures en alliages métalliques et en composite des avions civils et militaires.

## 1915-2015

### Un siècle de performance et d'innovation

Un siècle époustouflant de progrès technologique pour le monde aéronautique : repoussant toujours plus loin les limites du possible, élevant toujours plus haut les performances, renforçant sans cesse la fiabilité et la qualité de la production. Cette histoire a été construite par des hommes visionnaires, à l'intelligence éclairée et pugnace face aux défis à relever. L'aventure de la société AHG s'inscrit pleinement dans cette lignée... AHG a déposé pendant ces années une cinquantaine de brevets. L'entreprise est aujourd'hui le fournisseur en rivets, fixations temporaires et visserie de la plupart des acteurs majeurs de l'industrie aéronautique, qu'ils soient avionneurs, motoristes, équipementiers ou distributeurs. AHG collabore régulièrement avec la Direction Générale de l'Armement.



Salle des traitements thermiques des AHG

# FRENCH HAUTE COUTURE SINCE 1915



> Être devenu le partenaire mondial privilégié de l'industrie aéronautique et spatiale en matière de rivets pleins, visserie structurale et nouvelles fixations, c'est d'abord une question de performance. Anticiper et accompagner les progrès techniques et industriels, c'est surtout une question d'innovation. Les Ateliers de la Haute-Garonne allient depuis 100 ans la performance à l'innovation.



**ATELIERS DE LA HAUTE-GARONNE**

FASTENING PERFORMANCE TO INNOVATION

**100**  
ANS - YEARS  
Since 1915

[www.ahg.fr](http://www.ahg.fr)

Retrouvez-nous à l'INTERNATIONAL PARIS AIR SHOW  
Du 15 au 21 juin 2015 - Hall 2B - Stand C80 - Chalet 132



# EUROSAE :

## LA SOCIETE DE REFERENCE POUR LA FORMATION CONTINUE D'INGENIEURS ET CADRES DANS LE DOMAINE DES HAUTES TECHNOLOGIES

### A propos d'EUROSAE :

EUROSAE est une filiale de l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE-SUPAERO), leader français des formations aéronautiques et spatiales et l'Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, (ENSTA PARISTECH) expert français des systèmes complexes appliqués à l'énergie et au transport.

**VISIT US AT  
HALL CONCORDE  
Stand N° 14**

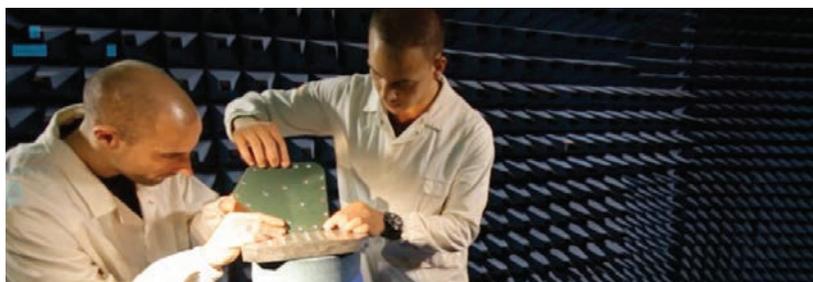
## 250 formations dans 13 grands domaines

- Aéronautique - Espace - Défense
- Automatique - Robotique - Informatique
- Cybersécurité **NEW !**
- Détonique - Balistique - Pyrotechnie
- Electronique : applications
- Electronique : technologies
- Mécanique des fluides - Acoustique
- Génie mécanique - Matériaux et structures
- Mathématiques appliquées - Traitement du signal
- Systèmes : Ingénierie, productique, logistique
- Systèmes : concepts, sécurité, qualité
- Techniques marines
- Management, projets, communication



# Les antennes du SPECTRA, un atout pour le RAFALE

Les fameuses OPEX (opérations extérieures en Libye au Mali et en Irak) ont été une excellente vitrine commerciale pour le Rafale, lui permettant de remporter différents succès à l'export. Car l'appareil développé et mis au point par Dassault Aviation et ses partenaires au sein du GIE Rafale (Thales et Safran) a aujourd'hui atteint un degré de maturité opérationnel de très haut niveau, en partie grâce au fameux système de guerre électronique SPECTRA...



Les succès export : une bonne nouvelle pour Jacquelot PE, PME francilienne située à quelques centaines de mètres de son partenaire historique Thales à Elancourt, intégrateur des panneaux antennaires du Système de Protection et d'Évitement des Conduites de Tir du Rafale (SPECTRA). En effet, les ventes export successives (Egypte, Qatar, Inde et peut-être aux Emirats Arabes Unis prochainement) donnent de la visibilité long terme à cette entreprise technologique. Jacquelot PE est en effet un partenaire de premier rang du groupe Thales pour lequel il réalise les systèmes antennaires de bon nombre d'équipements stratégiques utilisés par les Forces Armées (avions de chasse, hélicoptères de combat, frégates et sous-marins par exemple).

« Depuis quelques années maintenant, nous sommes associés très en amont à la conception des éléments stratégiques et notre bureau d'études intégré, associé au savoir-faire excep-

tionnel de nos ateliers d'intégration, nous donne la capacité d'accompagner nos clients de la phase R&D, à celle du prototype et à l'industrialisation », confie Yann JACQUIN, directeur général de Jacquelot PE.

Progressivement, la PME a évolué du statut de sous-traitant à façon (à sa création en 1929) à celui de concepteur et d'intégrateur, contrôlant la totalité des opérations nécessaires comme l'assemblage, le câblage, les tests ou les mesures hyperfréquences.

Cette évolution s'explique par le savoir-faire acquis initialement par Jacquelot PE dans la mise au point d'équipement électronique pour milieux sévères, l'intégration et le câblage de systèmes durcis. Mais depuis une quinzaine d'année maintenant, la PME de Défense se positionne très clairement comme une entreprise innovante qui profite de son histoire riche et de son retour d'expérience conséquent,

pour proposer aux grands donneurs d'ordres des solutions inattendues mais pertinentes. A l'image du dernier PEA (Programme d'Etude Amont) que la DGA lui a confié l'année dernière pour le développement d'une nouvelle génération d'antennes tracées pour sous-marins, les solutions Jacquelot PE offrent des possibilités opérationnelles jusqu'alors jamais imaginées par les « pacha » (surnom du commandant d'un navire dans la Marine Nationale). La consolidation de ces compétences fait de Jacquelot PE une réponse efficace à l'enjeu essentiel du Ministère de la Défense.

« L'enjeu, c'est de disposer des technologies pour lesquelles il est nécessaire d'avoir une autonomie stratégique ; c'est de pouvoir compter sur les compétences industrielles, qui nous permettront de réaliser les programmes futurs » indique M. Jean-Yves LE DRIAN, Ministre de la Défense lors de la 3<sup>ème</sup> édition du forum DGA innovation 2014.

Au delà du succès à l'export du Rafale, sur lequel de nombreux équipements de pointe (SPECTRA, OSF, DAMOCLES, IFF, MICA, etc.) passent à différents niveaux entre les mains des collaborateurs expérimentés de Jacquelot PE (la moyenne d'ancienneté des collaborateurs est de 18 années), la réussite en général et la position de premier plan de l'industrie de défense française dans le monde sont dues à un partenariat de plus en plus resserré entre les grands groupes et les PME, orchestré avec succès par la Direction Générale de l'Armement depuis quelques années maintenant.

Dorénavant, Jacquelot PE ambitionne d'asseoir sa position d'innovateur sur les systèmes antennaires sur mesure, pour tous les secteurs d'activité, en développant plus encore sa structure d'ingénierie, aujourd'hui composée d'une quinzaine de personnes (docteurs, ingénieurs et techniciens) et tout en renforçant son outil industriel, pour accompagner ses partenaires dans les challenges technologiques de demain.

Contact Jacquelot PE :  
Yann JACQUIN - Directeur Général  
yjacquin@jacquelot.com  
01.30.66.75.57  
3, Avenue Jean Rostand  
78190 TRAPPES



# LE LEADERSHIP PAR LA CONFIANCE

## Une valeur éternelle, ... et nouvelle

par **Jérôme de Dinechin**, ICA

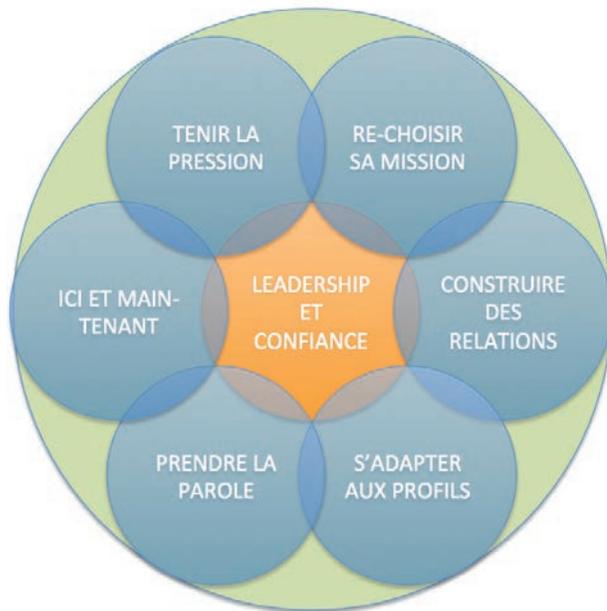
■ CGARM SECTION CARRIÈRES, COACH

Dans son livre testament, « La Société de Confiance », Alain Peyrefitte résumait la recherche de toute une vie, expliquant qu'au au-delà du capital et du travail, la confiance était la source de toute cohésion et tout processus de développement des sociétés : confiance entre époux, entre parents en enfants, entre malade et médecin, entre chef et subordonnés, entre prêteur et emprunteur, entre client et fournisseur, tandis qu'à l'inverse, la défiance stérilise. » Or, nous constatons tous que nos organisations ont du mal à intégrer cette valeur : la pression augmente, les marges de manœuvre diminuent, le droit à l'erreur – et la valeur ajoutée personnelles – disparaissent. Alors, faire confiance, facile à dire... En voici pourtant un mode d'emploi circulaire pour la décliner au quotidien : une « rosace de la confiance » sur laquelle j'ai travaillé en élaborant – avec d'autres – le label « captain confiance ».

### Au cœur de la rosace : leadership et confiance

Je ne vois pas de plus belle illustration de la confiance que celle des premiers pas, lorsque l'enfant se décide à lâcher le support qu'il tenait, pour se lancer vers l'adulte qui l'appelle. De l'autre côté, le leadership consiste à affirmer son rôle de meneur d'hommes, par l'attitude, la parole, les actes. Le leadership, qui apparaît spontanément dans tout groupe humain ou animal, s'affirme par la force, l'intrigue, le savoir, la terreur, la loi, ...

Aussi, la première question est de savoir si nous souhaitons que la confiance devienne notre moteur de leadership. Si nous sommes convaincus qu'elle sera utile pour nous. Ou encore, si nous voulons miser sur cette valeur pour « faire vivre des relations de travail motivantes avec les personnes ».



La rosace de la confiance

### Premier axe : re-choisir sa responsabilité

Pour mettre en œuvre la confiance, tournons-nous en premier lieu vers notre propre rôle, au sein de l'organisation que nous servons. En assumant un rôle de cadre, nous sommes une courroie de transmission dans les valeurs et dans l'agir. Nous endossons un rôle de chef, et si nous l'oublions, les autres nous le

rappellent rapidement. L'acceptons-nous, qu'est-ce que cela signifie pour nous ? Il nous faut trouver une cohérence entre nos « moteurs intérieurs » et les valeurs de l'entreprise. Savoir pourquoi nous sommes là. Il nous faut aussi être lucides sur nos incitations extérieures (salaire, position, avantages) qui peuvent dans certains cas nous faire accepter des incohérences par rapport à notre être

profond. L'expérience montre que les incohérences temporaires durent longtemps, et que les compromissions brouillent la lucidité. Et nous n'avons qu'une seule vie... Pour éclairer ce point, interrogeons-nous : sommes-nous bienveillants vis-à-vis de l'institution que nous servons ? Cela nourrit-il notre estime de nous-mêmes ou une part de nous trouve-t-elle cela « dégradant » ?

AVEC QUI	RÉGULIER	OCCASIONNEL
PERSONNE	Point délégation Entretiens d'évaluation et de formation Contact informel : repas, café...	Difficulté : recentrage et points Accueil nouveau collaborateur ou départ Drame personnel Anniversaires, naissance, ...
EQUIPE	Prise de poste : bonjour... Réunion hebdomadaire, mensuelle Événement cohésion Séminaire d'équipe (annuel), ...	Arrivée ou départ de collaborateur Crise / drame : point de situation Journal interne Repas, ...
GROUPE	Lancement projet, visite de mi-délai Jalons programme et à-côtés Bilan projet / métier (annuel) Point avec autres services/prestataires,	Réunion flash projet / pic de charge Récompense, fête de succès Événements sportifs, culturels Concertation, ...

Mes occasions d'être présent : 30% à 50% de mon temps du manager

Le vivons-nous bien également par rapport aux autres ? En définitive, comment vivons-nous notre mission, et sommes-nous capables de la re-choisir aujourd'hui ?

## Deuxième axe : construire des relations dans une posture bienveillante

Dans un rôle de chef, nombreuses sont les occasions de rencontre. Elles peuvent être mises à profit pour construire des relations motivantes. Dans ce domaine, l'image du chef qui sait et qui exige doit faire place à une image du chef qui écoute et questionne. Ce que les psychologues appellent la « position basse ». De fait, les enquêtes sur le bien-être des cadres mettent en avant, juste derrière la rémunération, le sentiment de participer aux décisions... et pour cela, avoir voix au chapitre. Cela est plus facile à dire qu'à faire, car partir de l'autre n'est pas naturel. Dans une logique d'efficacité, nous privilégions l'information « objective » à l'écoute de la personne. Je vous invite à faire l'essai de vous observer dans les jours qui viennent, et dans une discussion sans trop d'enjeu, de faire l'effort de répondre « en partant du point de vue de votre interlocuteur » plutôt que de votre propre point de vue. Nous pourrions craindre de perdre notre ascendant en prenant cette position basse. En réalité, nous ne faisons qu'ajouter à notre palette d'outils un mécanisme de motivation puissant : la compréhension. Nous ne perdons pas notre autorité, c'est-à-dire le rappel à la règle lorsque c'est nécessaire, et la décision d'accorder des moyens ; mais nous ajoutons le

fait de comprendre le point de vue de l'autre, même si nous ne l'approuvons pas. Nous pouvons ainsi tomber d'accord sur le fait que nous ne sommes pas d'accord. Une telle approche bienveillante permet même de reconstruire une relation mal engagée.

## Troisième axe : tenir compte des profils psychologiques

Beaucoup de temps a passé depuis le moment où l'on ne voulait voir qu'une seule tête. Nous sommes tous différents par nos manières de communiquer et nos ressorts internes. En prenant le modèle de la « *Process Comm* », chacun a été marqué dans son enfance par l'un des six types de caractères (sa base), et vit aujourd'hui selon un autre de ces mêmes types (sa phase). On ne parle pas, on ne motive pas de la même manière un travailleur, un persévérant, un empathique, un rêveur, un rebelle ou un promoteur (types de la *Process Comm*).

Plus grave encore, on peut démotiver sans s'en rendre compte une personne, et la faire tomber dans son scénario d'échec. Voir l'article d'un précédent magazine sur « mes collaborateurs sont nuls, et si j'en étais responsable ».

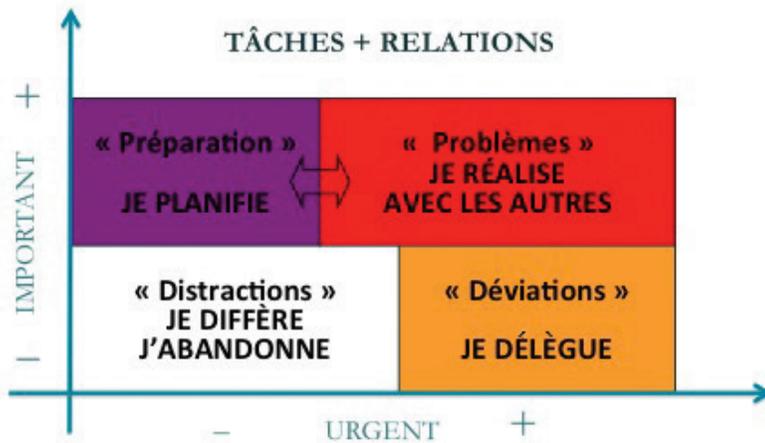
Or, nous sommes nous-mêmes d'un type particulier, avec une langue natale particulière. C'est notre responsabilité de patron d'apprendre à parler les autres langues de la communication. Nous prenons bien des cours d'anglais pour pouvoir travailler en contexte international. Pourquoi ne pas apprendre à mieux utiliser notre langage nourricier (chaleu-

reux, compatissant, intéressé à ce qui arrive aux personnes, cadeaux), notre langage ludique (léger, amusé, capable de dédramatiser avec humour) ou notre langage directif (donner un ordre, prendre une décision en face et s'y tenir). Pour le quatrième langage, « informatif – interrogatif », j'ai observé que les ingénieurs n'ont besoin d'aucun conseil

## Quatrième axe : incarner le leadership en paroles

Dans les différentes manières de travailler, la confrontation à un groupe reste la plus angoissante. Et pourtant, elle est inévitable pour un chef. La prise de parole a un effet symbolique majeur, car elle fonde et traduit l'existence d'un groupe de personnes. D'autres leviers existent bien sûr, mais plus que tout autre, la prise de parole vous positionne et vous donne une légitimité.

Réciproquement, le leader, souvent soumis à une forte pression la transmet inconsciemment à son équipe et cela pèse d'autant plus que ce n'est pas explicité. Regarder la difficulté en face a le mérite de mettre des mots et un contenu clair sur un ressenti jusque là mystérieux et menaçant. J'ai parfois entendu « Enfin, nous savons contre quoi nous battre » après une annonce d'un très mauvais résultat. Mais la prise de parole en public ne s'improvise pas. Elle ne se copie pas non plus ! Chacun a le pouvoir de mettre en avant ses propres talents dans ses prises de parole, et de devenir un orateur apprécié. Les jeunes diplômés que j'ai fait travailler sur ce sujet considéraient initialement la prise de parole comme un



Le diagramme d'Eisenhower

« cauchemar » ! Après quelques séances, ils améliorent considérablement leurs trois « V », le verbal, le vocal et le visuel, et parviennent à un impact tout à fait appréciable sur leur auditoire à condition de rester eux-mêmes. De nombreuses formations existent sur ce sujet.

**Cinquième axe : Etre présent sur le bon canal, aux bonnes personnes, au bon moment**

La conduite des affaires nécessite la présence du chef, dans le bon timing, au bon endroit. Selon le type d'avis à donner et l'urgence requise, on peut agir et réagir par email, par note, par téléphone ou SMS. Parfois, le tête à tête s'impose sans témoin pour un recadrage par exemple, ou une valorisation pour un événement particulièrement réussi, cf 2<sup>ème</sup> axe. Une bonne partie de la présence passe également par les réunions.

Diriger, cela reste quand même être présent. Certains patrons de grands programmes en phase finale m'ont confié avoir « pris leur sac » lors de leur nomination pour être sur place pour tous les essais. D'une manière générale, un leader devrait consacrer 30% à 50% de son temps à ses équipes et personnels.

En cherchant à faire la liste des occasions de présence, on identifie aisément des rendez-vous programmés, comme par exemple le bonjour quotidien, la réunion hebdomadaire, l'entretien annuel, les vœux, le lancement de projet, la livraison d'un lot. Le contenu en est un peu convenu, mais rien n'empêche d'y mettre une intensité de présence forte. Il importe d'être également présent lors des

rendez-vous occasionnels, comme l'arrivée ou le départ d'une personne, un anniversaire, un drame personnel ou un événement heureux. La présence s'impose aussi lors de crises ou de pics de stress, pour objectiver les faits et encourager les équipes.

Et nous, quel est notre temps de présence à nos équipes ? Regardons nos agendas !

Autre axe d'amélioration, celui des grands oubliés dans notre plan de présence ? Ceux qui nous ennuient, ou au contraire ceux qui ne font jamais de problème. Ceux à qui on ne peut pas (!) faire confiance, ou ceux qui pensent tellement comme nous qu'on se comprend sans parler. Les pompeurs d'énergie. En réutilisant la grille de lecture de l'axe 3 (profils psychologiques), quels seraient mes grands oubliés ?

**Sixième axe : tenir la pression**

Tenir la pression signifie en premier lieu se dégager du temps. En la matière, pas d'autre levier plus efficace que la délégation. Pas de délégation sans contrôle, dit-on. Pas de délégation si l'on n'est pas prêt à faire confiance, et donc à tolérer l'erreur, pourrait-on rajouter. C'est en réalité un véritable choix de confiance que de déléguer, dans lequel nous devons initialement perdre du temps, pour en gagner par la suite, en admettant que pour un temps, ce que nous faisons vite et bien sera moins bien fait et plus lentement. En priorité, nous délèguerons nos urgences peu importantes, comme l'illustre le diagramme d'Eisenhower. Nous poserons un « contrat » afin que si la personne se sent dépassée, elle n'hésite pas à le rapporter.

Et s'il nous reste un doute dans notre approche de la confiance, rappelons-nous que déléguer fait grandir nos collaborateurs.

Tenir la pression se traduit également par gérer efficacement et avec bienveillance les difficultés vécues : les apports de la communication non violente peuvent nous y aider de même que les bases de l'Estime de Soi pour continuer à se donner le droit de survivre même en cas de forte difficulté, voire d'échec. L'épreuve de la confiance est une constante de la vie professionnelle d'aujourd'hui. Elle intervient de manière prioritaire dans les projets, dont elle est une composante inséparable. Cultivons donc notre confiance dans notre droit de vivre aussi bien que dans notre capacité à réussir nos projets.

**Conclusion**

On pourrait avoir l'impression que le leadership par la confiance n'est qu'une utopie. Il est bien commode de le croire, pour tuer en nous l'envie de progresser malgré des exemples probants à portée de main. « A quoi bon essayer, je n'y arriverai jamais, ce n'est pas possible, il a de la chance, lui, d'avoir des équipes pareilles, etc... » L'expérience de nombreux séminaires montre si besoin était que l'envie de la confiance est au cœur de l'homme. Lorsqu'on mise sur elle, à chaque échelle, se met en œuvre une dynamique positive de « good will » qui rend possible ce qui apparaissait hors de portée. Même Jack Welch, charismatique patron de General Electric et peu connu pour son côté compassionnel déclarait : « Donner confiance, la diffuser partout, est ce que j'ai fait de plus important. »

Aussi, plutôt que de décréter que c'est impossible, examinons notre envie profonde, et faisons tourner la rosace de la confiance. Il serait bien étonnant de n'y trouver aucun point brillant !

# GALA DE L'ARMEMENT 2015

Rendez-vous pour tous le 16 octobre 2015 !



Salon Opéra de l'Hôtel InterContinental Paris Le Grand



par  
**Frédéric Guir,**  
ICA  
Vice-président Gala

*Comme chaque année la CAIA vous invite à participer au prochain Gala de l'armement qui se tiendra le vendredi 16 octobre 2015 dans les salons de l'Hôtel Intercontinental Paris Le Grand. Cette manifestation organisée au bénéfice de la caisse de secours de la CAIA réunit la communauté des ingénieurs de l'armement et de tous ceux qui œuvrent tant dans la défense nationale que dans les autres domaines où le corps rayonne.*

*Lors de la précédente édition, notre camarade Laurent Collet-Billon nous a fait l'honneur de sa présence aux côtés de notre président Philippe Roger et de nombreux dirigeants d'entreprises.*

*Pour 2015, nous comptons tout particulièrement sur votre présence pour renforcer les liens intersectoriels au sein de notre amicale. Tout d'abord nous nous adressons aux ingénieurs de l'armement en poste à la DGA pour qu'ils viennent rehausser l'éclat de cette soirée de gala, qu'ils soient invités par un industriel ou qu'ils souhaitent participer à titre individuel. Nous n'oublions pas non plus tous les ingénieurs de l'armement qui travaillent dans les autres secteurs d'activité, et pour ceux qui dirigent des entreprises, nous les engageons à contribuer au succès de cette soirée en y réservant une table.*

*Je souhaiterais que chacun se mobilise pour la réussite de notre gala soit en acceptant d'y participer en honorant l'invitation qu'il aura reçue, soit en réunissant des camarades pour savourer ensemble ce grand moment de convivialité.*

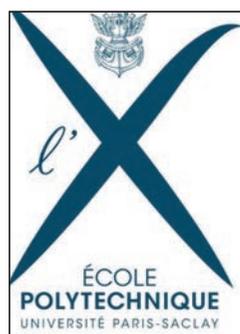
*Je compte sur vous !*

Pour mémoire les photos de cette soirée sont disponibles à l'adresse suivante :  
[www.allophoto.fr/galart/index.html](http://www.allophoto.fr/galart/index.html)



M. Laurent Collet-Billon, DGA, et M. et Mme Yves Gleizes

information et réservation :  
**[gala@caia.net](mailto:gala@caia.net) - tél. : 01 56 81 16 93**



# BIENVENUE AUX JEUNES IA DE LA PROMOTION X 2012

par **Jérôme de Dinechin**, ICA

■ CGARM SECTION CARRIÈRES, COACH

La CAIA souhaite la bienvenue aux polytechniciens de troisième année qui ont choisi le corps de l'Armement au terme de la période des feuilles de botte.

Albert DESMOULINS  
Alexander SCHAUB  
Yoël DADOUN  
Thibaut LAJOIE-MAZENC  
Léo WOJSZVZYK  
Nathan DE LARA  
Pierre-Yves POINSARD  
Nicolas CLICHE  
Lucien MASSON  
Hervé STROZYK

Ils partiront en septembre faire leur 4A dans différentes écoles avant de se retrouver en janvier 2017 pour six mois de formation « corps » dont trois mois de FAMIA, formation administrative et militaire des IA, puis trois mois de stage opérationnel, et un embarquement sur la Mission Jeanne d'Arc. Cette année, contrairement aux années précédentes, les places offertes par le corps de l'Armement n'ont pas toutes été prises.

## Organisation d'un concours sur titres pour la fin de l'année

Les jeunes IA polytechniciens seront rejoints en fin d'année par des élèves d'autres Grandes Ecoles ou titulaires de diplômes équivalents (et âgés de moins de 27 ans) dans le cadre d'un concours sur titres qui n'avait pas pu être organisé depuis la réforme du statut des IA en 2008.

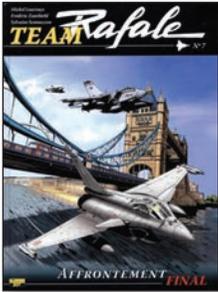
## Réforme de la pantoufle à l'X

Le 23 mai dernier, a été publié au JO le décret réformant la pantoufle. A l'étude depuis plusieurs années, ce décret vise à rétablir une pantoufle pour tous les X qui ne serviraient pas 10 ans dans un service public (au sens large : fonctions publiques, établissements ou entreprises publics) ou dans le cadre d'une mission d'intérêt général après leur scolarité. De fait, depuis la réforme X 2000, seuls étaient tenus de rembourser leur pantoufle les corpsards qui démissionnaient avant 10 ans.

Le remboursement porte sur la solde perçue durant la scolarité à Palaiseau, à l'exclusion de la première année. Elle se monterait aux alentours de 30 000 € dans les conditions actuelles. ☘

# TEAM RAFALE

de Zephyr Editions



Team Rafale est une série de BD en cours d'édition. Déjà 7 tomes, à raison d'un par an depuis 2007. Cette série à la gloire du Rafale, de l'Armée Française, et du séduisant capitaine Tom Nolane, pilote de combat et également pilote d'essais, et de sa non moins séduisante collègue pilote Jessica Nate. Dans la verve des grands héros de la bande dessinée d'aviation, les intrigues se déroulent dans un contexte géopolitique actualisé : satellites espions, trafic d'ordinateur quantique en Afghanistan, vol de drones armés prototypes, poursuite de l'or d'Al Qaida entre le Soudan et la Somalie,...

On y voit également une belle coopération inter-armées : commandos, hélicos, transporteurs, chasseurs français et internationaux...

Les amateurs de matériels seront ravis de la précision des dessins du Rafale, bien sûr, mais aussi des missiles, hélicoptères, jets, qu'ils soient alliés ou adversaires. Et notre âme d'enfant se réjouira de ces histoires où les matériels français sont les meilleurs du monde, et où les gentils gagnent à la fin.

# RAFALE LEADER



Petits frères de la série TEAM, les héros de Rafale Leader ne sont que lieutenants, mais bien décidés à en remonter à leurs aînés. Adeptes des sensations fortes, des sports extrêmes, du pilotage aux limites et des femmes, Léo et Tibs, avec cette nouvelle série, nous emmènent aux confins de l'aventure aéronautique contemporaine aux commandes du plus moderne des chasseurs.



**SOFIRED**

**bpi**france

SOFIRED est désormais une filiale à 100% du groupe Bpifrance

Le ministère de la Défense et Bpifrance ont créé par convention le Prêt SOFIRED-PME Défense

Ce prêt participatif finance le développement des PME de Défense

**Votre contact :**

Gaël Bielecki  
tél. : 01 44 11 75 88  
portable : 06 85 07 66 91  
mail : gael.bielecki@sofired.fr

@sofiredfr

Bpifrance offre depuis le 1er janvier 2014 un financement bancaire sous forme de prêt participatif particulièrement adapté aux PME de plus de trois ans et financièrement saines dont l'activité est liée à la Défense, directement ou indirectement, pour financer en partenariat (cofinancement) :

- des projets de croissance (développement, acquisition) ou de transmission, porteurs d'emplois durables ;
- et en particulier des investissements matériels et immatériels, le besoin en fonds de roulement, des rachats d'actifs, des acquisitions de titres et des remboursements de comptes courants (en cas de reprise).

Ce prêt participatif de 100 K€ à 1 M€ à taux fixe sur une durée de 7 ans, avec 2 ans de différé d'amortissement du capital, apporte les avantages suivants :

- des capitaux propres renforcés, un meilleur effet de levier ;
- non dilutif, l'entrepreneur préserve son indépendance ;
- aucune garantie personnelle ni sûreté exigée ;
- cumulable avec toute autre intervention en financement ou en garantie de Bpifrance.

Le prêt SOFIRED-PME Défense est disponible sur un mini site internet dédié : <http://sofired.bpifrance.fr>



# Défense

Partout où l'enjeu est essentiel, nous sommes là

## FRAPPE DE PRÉCISION

Assurer l'effet voulu, en évitant les dommages collatéraux

## DÉTECTION DES MENACES

Assurer une alerte avancée, établir les priorités, réagir au plus vite

## CONNAISSANCE DE LA SITUATION TACTIQUE

Accélérer le tempo opérationnel, partager l'information au sein des forces et avec nos alliés

## CYBERDÉFENSE

Protéger activement le cyberspace

## COMMUNICATIONS EN RÉSEAU

Accélérer le processus décisionnel dans le feu de l'action

## OPTIMISATION DES MISSIONS

Réduire le temps de réaction en facilitant la tâche des personnels

## PROJECTION DES FORCES

Fournir les solutions logistiques pour le déploiement des forces et la conduite des opérations

Chaque jour, des millions de décisions critiques sont prises dans la défense pour protéger les populations, les infrastructures et les nations. Thales est au cœur du processus. Nos solutions servent tous les milieux traditionnels (air, terre, mer, espace) et les nouveaux environnements (combat urbain, cyberguerre), les opérations de coalition ainsi que la sécurité urbaine et la cyberguerre. Nos technologies intégrées donnent aux décideurs l'information, l'équipement et le contrôle dont ils ont besoin pour répondre plus efficacement dans les environnements critiques. Partout, avec nos clients, nous faisons la différence.

**PAR DÉCRET ET ARRÊTÉ DE MARS 2015**

**Est nommée :**

L'IGAHC Laurent Caroline, membre du conseil d'administration de l'Institut des hautes études de défense nationale (19 mars 2015).

**Fixation du nombre de postes offerts au recrutement dans le corps des IA :**

Le nombre de places offertes pour le recrutement d'ingénieurs de l'armement en 2015 est fixé à :

- 18 places au titre du tableau de classement de sortie de l'Ecole Polytechnique (article 4 du décret 2008-941)
- 1 place au titre du recrutement à titre initial d'IA stagiaires par concours sur titres (article 5 – 2°)
- 2 places au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur épreuves au grade d'IA (article 6 – 1°)
- 3 places au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur épreuves au grade d'IPA (article 6 – 2°).
- 1 place au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur titres au grade d'ICA (article 6 – 3°).

**PAR DÉCRETS D'AVRIL 2015**

**Sont nommés :**

L'IGA2 Paris (Etienne, Jean-Marie), délégué contrôle export auprès du directeur stratégie de défense, prospective et contre-prolifération à la Direction générale des relations internationales et de la stratégie du ministère de la défense (9 avril 2015)

L'ICA Moschetti Pierre (au titre du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie), l'IGHC Laurent Caroline, l'IGA Vincent-Rouchon Blandine, l'ICA Ripoché Jean-François (au titre du Ministère de la défense), les IGA Sainjon Bruno et Duquesne Thierry (en qualité de personnalités choisies en raison de leur connaissance des activités publiques et privées dans le domaine aérospatial), l'ICA Cueille Stéphane (en qualité de personnalités appartenant à l'industrie aérospatiale), membres du conseil d'administration de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (30 mars 2015).

**PAR DÉCRETS DE MAI 2015**

**Sont nommés :**

L'IGA Serge Duval, directeur des services administratifs et financiers du Premier ministre (11 mai 2015)

L'IGA2 Terrail (François, Maurice, Jean), chargé des fonctions de chef du service central de la gestion budgétaire et des comptabilités de la direction des plans, des programmes et du budget, et directeur du service de l'exécution budgétaire et comptabilités des opérations d'armement (1<sup>er</sup> juin 2015).

CARNET PRO

Olivier De la Bourdonnaye (1967), directeur industriel de DCNS (23/02/2015)

Guy Caron (1967), membre de la Direction générale des entreprises, chargé de mission microsystèmes, interconnexion et packaging - Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique - Ivry sur Seine (01/03/2015)

Jérôme Paillet (1968), directeur du département océanographie et dynamique des écosystèmes de l'IFREMER/Brest (16/03/2015)

Damien Theret (1980), Certification and qualification coordinator dans la division A 400 M de l'OCCAR/A 400 M/Toulouse (31/03/2015)

Didier Brugère (1952), président du conseil d'administration de l'ENSTA (01/04/2015)

Nadim Traboulsi (1980), directeur développement à la direction commerciale France de Thales Communication and Security (01/04/2015)

Jean-Paul Herteman (1950), Représentant spécial pour les relations économiques avec le Canada au Ministère des affaires étrangères (24/04/2015)

Jacques Lengyel (1975), adjoint au directeur de la plate-forme nationale d'interceptions judiciaires du Ministère de la justice (01/05/2015)

Michel Even (1966), directeur des opérations de production et des services du SHOM - EPSHOM Brest (02/05/2015)

Benjamin Gallezot (1972), chargé de mission auprès du directeur de la Direction générale des entreprises (15/05/2015)

Geoffroy Lenglin (1976), directeur affaires de DGA CEPR (01/07/2015)

Flavien Dupuis (1985), adjoint au chef de bureau de la sous-direction des Affaires financières multilatérales et développement (MULTIFIN) - Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique (01/07/2015)

**Spécialiste en mesures linéaires, rotatives & de positions**

Représentant exclusif pour la France des constructeurs les plus fiables à travers le monde :

**tous domaines d'activité...**

AÉRONAUTIQUE  
DÉFENSE  
INDUSTRIE  
CONSTRUCTION  
TRANSPORT  
ÉNERGIE RENOUVELABLE

ZETTEX,  
SCANCON,  
POSITAL FRABA,  
POSIC,  
NEMICON,  
DIS SENSORS,  
ATEK SENSORS,  
WAYCON Engineering

**toutes technologies...**

CAPTEURS ET CODEURS AVEC OU SANS CONTACT  
MICRO CODEURS  
HEAVY DUTY  
EX ATEX  
LVDT, INCLINOMÈTRES ...

SCH68 SUB : water depths down to - 6000 meters

**VICATRONIC**  
3, route de Châteaumeillant  
18270 CULAN  
Tel : +33 (0)248.566.335  
Fax : +33 (0)172.744.398  
contact@vicatronic.fr  
www.vicatronic.fr

**DÉCORATIONS****AERO 2014 - PROMOTION DE JANVIER 2015**

LESTIENNE Tanguy  
MOSCHETTI Pierre

**MERITE MARITIME 2014 - PROMOTION DE JANVIER 2015**

ARNAUD Walter - AGRAFE MOYEN ORIENT  
DUGRAIN Louis - AGRAFE SAHEL

**LETTRÉ DE FELICITATIONS**

AUCOUTURIER Alix  
DUGRAIN Louis

**MOBILITÉS ET DÉPARTS****Mouvements de janvier**

Nom	Prénom	Départ	Arrivée	
AUFRANT	Lauriane	DRH	DRH	FORM
BAHUREL	Philippe	DO	DO	SMCO
BENESSY	Claude	Détaché	AFF TEMP	MINEFI
BLAES	Dominique	Détaché	AFF TEMP	MINEFI
BOUVIER	Pierre	DO	DO	UM AMS
CARLIER	Alain	DO	EMAA	DC SIAE
CORTAMBERT	Jean-Marc	DO	HDSE	DPID
DE ROBILLARD	Gilles	HDSE	DRH	AC
DECKERS	Jean	Détaché	AFF TEMP	MINEFI
DONATI	Régis	DO	DO	UM COE
GOSSET	Thomas	Détaché	AFF TEMP	MINEFI
GUELDRY	Olivier	DO	DS	SRTS
LAVARDE	Axel	Détaché	DO	UM COE
MAILLARD	Frédéric	Détaché	AFF TEMP	MINEFI
PAUL	Sylvain	DT	DT	DGA Maîtrise de l'information
ROUSSEAU	Emmanuel	DO	DO	UM NBC
ROUSSEAU	Cyril	Détaché	AFF TEMP	MINEFI
VIELLEMARD	Marie-Caroline	DO	DO	UM HELI
BURIGANA	Dany	DS	HDSE	DGRIS
ROVES	Jean-Paul	DS	HDSE	DGRIS
MARTIN	Jean-Christophe	Détaché	HDSE	DIIE

**Mouvements de février**

Nom	Prénom	Départ	Arrivée	
DE ROBILLARD	Gilles	DRH	DS	AC
DELETANG	Stéphane	CCPNR	HDSE	CGARM
FAIRBANK	Xavier	DT	DO	AC
GEOFFROIS	Edouard	DS	AFF TEMP	ANR
HUA	Minh-Tam	DT	DT	DGA Ingénierie des projets
JAOUEN	Alain	DP	DS	CATOD
LECINQ	Xavier	DO	DRH	AC
MERET épouse DAVID	Marie	Marie	DT	DP AC
ROUSSEL	Nadège	DO	DO	SCA
BOUGANNE	Raphaël	DRH	CCPNR	CCPNR

**Mouvements de mars**

Nom	Prénom	Départ	Arrivée	
DAL	François-Olivier	DP	HDSE	EMAT
NOUREAU	Jean-Christophe	DI	DP	AC
QUINOT	Claude	HDSE	DRH	AC
STOFFT	François	HDSE	DS	ITE
CARON	Guy	Détaché	AFF TEMP	AFF
THERET	Damien	DT	Détaché	OCCAR
BELLEC	Jean-René	Détaché	DO	SMCO
THOME	Emmanuel	DT	DO	AC

**INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT****Au grade d'ingénieur en chef de l'armement  
1<sup>er</sup> janvier 2015**

Benoît PEUDON  
Jean PRUDHOMME  
Maximilien PORTIER  
Axel DELONCLE  
Antoine OSMONT

**1<sup>er</sup> février 2015**

Jérôme LAVERGNE  
Nadim TRABOULSI  
Pierre GRAVELINES  
Laëtitia MABILE

**1<sup>er</sup> mars 2015**

Elodie FREBOURG  
Emilie VIEU  
Guillaume DUVEAU

**Au grade d'ingénieur principal  
de l'armement**

**1<sup>er</sup> janvier 2015**  
Xavier MALDAGUE  
Anne-Hélène BRIAND  
Guillaume BROSSE

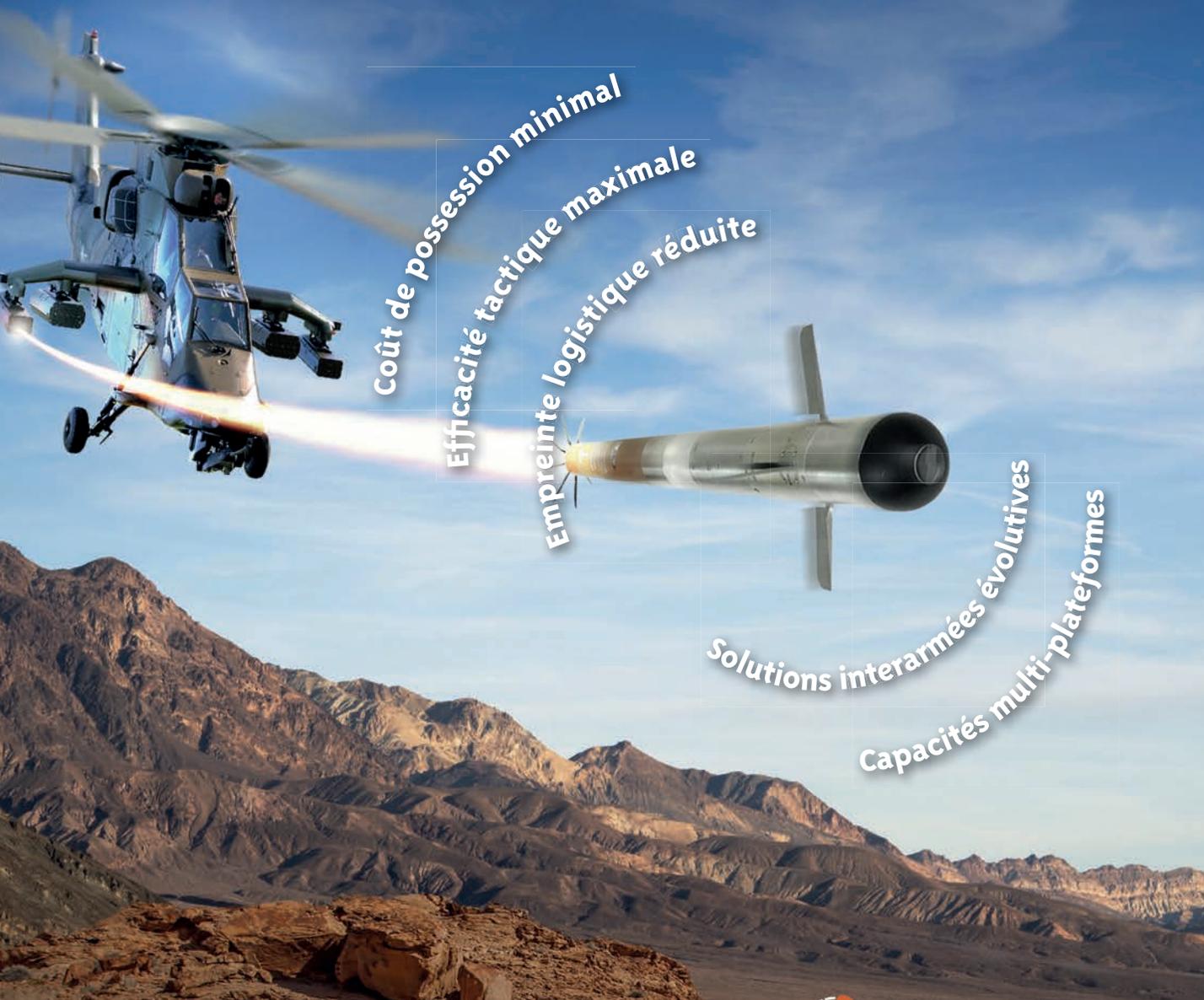
**1<sup>er</sup> février 2015**

Frédéric GRELOT  
Emmanuel LAFFONT

**1<sup>er</sup> mars 2015**

Nathanaël GILBERT  
Florian LEMOINE

# Systemes de roquettes à induction 'NATO Battle Proven' depuis 2009



Coût de possession minimal

Efficacité tactique maximale

Empreinte logistique réduite

Solutions interarmées évolutives

Capacités multi-plateformes

Les Systèmes de Roquettes à Induction (SRI) de deuxième génération de TDA fournissent des solutions de protection avancée et d'attaque pour tous les types de plateformes, conformes aux normes OTANiennes les plus drastiques. Offrant des niveaux sans précédent de sécurité et éliminant les risques de dégâts par éjectas, nos SRI sont impossibles à transformer en Engins explosifs improvisés (EEI). Très facile, le chargement s'effectue, sans outil, par un seul opérateur et le maintien en condition se limite au minimum, ce qui réduit considérablement t le coût de possession. Les solutions proposées incluent une gamme de lance-roquettes TELSON™ (comprenant de 2 à 22 tubes) et la gamme de roquettes à induction ACULEÛS™, dont la Roquette à induction guidée laser programmable 'en vol'. Seules les réglementations françaises en matière de contrôle des exportations s'appliquent.



Excellence at your side\*



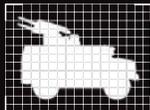
**NOTRE ENGAGEMENT POUR VOUS**

Les forces armées font face à des scénarios de combat de plus en plus complexes, dans lesquels il n'y a pas de place à l'erreur. Dans cet environnement ultra-exigeant, vous pouvez compter sur nos équipes d'experts qui s'engagent auprès de vous, afin de vous apporter des technologies à la pointe, éprouvées sur le terrain et une réelle autonomie pour votre défense.

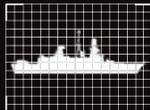
AIR  
DOMINANCE



AIR  
DEFENCE



MARITIME  
SUPERIDRITY



BATTLEFIELD  
ENGAGEMENT



[www.mbda-systems.com](http://www.mbda-systems.com)

