



Les futurs drones de combat collaboratif au sein du SCAF et de ses équivalents : plus-values et concepts d'emploi envisageables

Recherches & Documents

N°05/2024

Philippe Gros

Maître de recherche, Fondation pour la recherche stratégique

Jean-Jacques Patry

Ancien fonctionnaire du ministère des Armées

Avril 2024

www.frstrategie.org

FONDATION
pour la **RECHERCHE**
STRATÉGIQUE

Table des abréviations

BMC2	<i>Battle Management Command and Control</i>
CAS	<i>Close Air Support</i>
CCA	<i>Combat Collaborative Aircraft</i>
DCA	<i>Defensive Counterair</i>
DIL	<i>Disconnected, Intermittent, Limited</i>
ESM	<i>Electronic Support Measures</i>
F2T2EA	<i>Find, Fix, Track, Target, Engage, Assess</i>
GA-ASI	<i>General Atomics Aeronautical Systems, Inc.</i>
GCAP	<i>Global Combat Air Programme</i>
IOC	<i>Initial Operational Capability</i>
LW	<i>Loyal Wingman</i>
MUM-T	<i>Manned-Unmanned Teaming</i>
NGAD	<i>Next Generation Air Dominance</i>
NGF	<i>Next Generation Fighter</i>
NGWS	<i>New Generation Weapon System</i>
OBSS	<i>Off-Board Sensing System</i>
OCA	<i>Offensive Counterair</i>
OCL	<i>Offensive Counterland</i>
RC	<i>Remote Carrier</i>
ROEM	<i>Renseignement d'origine électromagnétique</i>
ROIM	<i>Renseignement d'origine image</i>
SCAF	<i>Système de combat aérien du futur</i>
SEAD	<i>Suppression of Enemy Air Defense</i>
UCAV	<i>Unmanned Combat Air Vehicle</i>
USAF	<i>Us Air Force</i>
USN	<i>US Navy</i>

SOMMAIRE

TABLE DES ABREVIATIONS	2
PLUS-VALUE ET CONCEPTS D'EMPLOI ENVISAGEABLES DES SYSTEMES DE DRONE AERIEN DE COMBAT COLLABORATIF DANS LE CADRE DU SCAF ET DES AUTRES PROGRAMMES EQUIVALENTS	5
RESUME	5
INTRODUCTION	9
LES DIFFERENTS PROJETS DE SYSTEMES DE DRONE AERIEN DE COMBAT COLLABORATIF DANS LE MONDE.....	11
1. LES MODELES DE <i>COLLABORATIVE COMBAT AIRCRAFT</i> AMERICAINS	11
1.1. Les CCA dans l'USAF	11
1.1.1. La maturation d'une vision des drones dans un système de systèmes	11
1.1.2. La nature du CCA : un concept d'« affordable mass » encore en débat.....	13
1.1.3. Les quelques éléments affichés du programme CCA	15
1.1.4. Les types de systèmes envisageables.....	16
1.1.5. De multiples questions : concept d'emploi ? Gestion organique ? Principes C2 ? .	18
1.2. Conception des CCA dans la Navy	19
1.3. D'autres réflexions d'intérêt	21
1.3.1. La conception des Skunk Works de Lockheed-Martin.....	21
1.3.2. Les wargames du Mitchell Institute	22
2. TOUR D'HORIZON DES AUTRES PROGRAMMES DE SYSTEMES DE DRONE AERIEN DE COMBAT COLLABORATIF	24
2.1. Les proches alliés : la participation directe du « club anglo-saxon » au développement du CCA américain.....	25
2.1.1. Australie : le programme Ghost Bat de Boeing Australia comme pilier d'expérimentation commun avec les États-Unis.....	25
2.1.2. Le Japon : encore en définition du binôme avion d'armes de sixième génération et de son drone ailier	26
2.1.3. Corée du Sud : développement envisagé d'un équivalent Ghost Bat	26
2.1.4. Europe : interrogations britanniques sur les configurations possibles des drones alliés	27
2.2. Russie et Chine, des situations contrastées	28

2.2.1.	Russie : les démonstrateurs de drones ailiers sont ralentis par les nécessités de la guerre en Ukraine et le tarissement des sources d’approvisionnement des composants.....	29
2.2.2.	Chine : les RC assurent un rôle clé dans l’alimentation des architectures ISR et de ciblage de longue distance contre les forces américaines.....	30
2.3.	Les nouveaux membres du club : l’Inde et la Turquie	31
2.3.1.	L’Inde et l’effet de rattrapage contre les systèmes chinois et pakistanais	31
2.3.2.	Turquie : affirmation d’une montée en compétences par le développement d’un programme de drone ailier.....	33
ANALYSE DU CAS FRANÇAIS.....		35
1.	ANALYSE DU PROBLEME POUR UNE PUISSANCE AERIENNE FUTURE SANS REMOTE CARRIERS....	35
1.1.	Rappel sur les cadres d’engagement plausibles de la puissance aérienne ..	35
1.2.	Aux racines de la motivation : un étiolement de l’épaisseur de la puissance aérienne française.....	36
1.2.1.	La LPM laisse augurer des améliorations significatives des capacités de la puissance aérienne.....	37
1.2.2.	...mais ne remédie pas au déficit de masse de cette composante qui va s’accroître	37
1.2.3.	Un étiolement de masse contraignant l’aptitude à tenir les six fonctions stratégiques.....	38
1.2.4.	...contraignant tout autant la capacité à mener une campagne aérienne de haute intensité.....	39
2.	L’APPORT POTENTIEL DES RC ET SES CONDITIONS SINE QUA NON	40
2.1.	Le prérequis essentiel : des drones forcément « perdables », récupérables ou consommables	40
2.2.	Les projets et positions d’Airbus et de MBDA	41
2.3.	Des apports à l’efficacité opérationnelle de la puissance aérienne	42
2.4.	Des conditions complémentaires	44
3.	LES OPTIONS DE SYSTEMES DE DRONES AERIENS DE COMBAT COLLABORATIF : QUELQUES PISTES DE REFLEXION PAR MISSION	46
3.1.	Les RC dans la fonction renseignement.....	47
3.2.	Les RC dans les missions de « Defensive counterair ».....	47
3.3.	Les RC dans les missions « d’Offensive counterair »	50
3.3.1.	La chasse offensive.....	50
3.3.2.	La suppression des défenses antiaériennes adverses	52
3.4.	Les RC dans les missions de counterland	54
3.4.1.	Les missions d’interdiction.....	54
3.4.2.	Appui aérien rapproché	55
3.5.	Les RC dans les fonctions de « battle management ».....	56
3.6.	Les RC dans la fonction communications.....	56
CONCLUSIONS		57

Plus-value et concepts d'emploi envisageables des systèmes de drone aérien de combat collaboratif dans le cadre du SCAF et des autres programmes équivalents

Résumé

La plupart des grandes puissances militaires, seules ou en partenariat, conçoivent pour le futur des systèmes de systèmes de combat aérien fondés sur le combat collaboratif entre chasseurs habités de nouvelles générations et systèmes de drone aérien.

La puissance étalon en la matière reste évidemment les États-Unis d'Amérique. L'*US Air Force* (USAF), après des années d'atermoiements, mais aussi l'*US Navy* (USN), mettent désormais l'accent sur le développement, dès le moyen terme, d'un inventaire conséquent de *Combat Collaborative Aircraft* (CCA) devant épaissir leur flotte de combat, devenue selon elles trop étioyée pour faire face à une agression chinoise. Le concept actuel est celui d'une « *affordable mass* » (« masse abordable »), c'est-à-dire une masse accrue à un coût maîtrisé. Ces CCA s'intégreront dans les systèmes de systèmes que constituent les *Next Generation Air Dominance* (NGAD) tant pour l'armée de l'Air que pour la Marine américaines. Le premier ensemble de missions concerné par cette vaste architecture de combat collaboratif est le *counterair*, l'acquisition de la supériorité aérienne (donc la chasse et la neutralisation des défenses antiaériennes ennemies – SEAD), mais l'USAF envisage « 100 rôles » pour ces CCA (interdiction, au CAS, au relais de communications). Cela étant, le débat sur les compromis à trouver en termes de coûts et de performances opérationnelles de ces équipements n'est pas encore achevé.

Les Américains travaillent actuellement sur des engins majoritairement récupérables basés à terre, fondés sur les développements du XQ-58 par Kratos, de la famille des *Gambit* de GA-ASI, ou encore du MQ-28 *Ghost Bat* de Boeing même s'il n'est pas certain que ces systèmes correspondent encore au besoin. Un système de cette nature devrait néanmoins constituer l'ossature du premier incrément du CCA et se traduire par au moins un millier d'acquisitions par l'US Air Force à moyen terme pour opérer en *Manned-Unmanned Teaming* (MUM-T) avec le F-35 puis le chasseur NGAD. Si la ou les plateformes restent à déterminer en fonction du degré de performance qui sera arrêté, il apparaît acquis que ces systèmes reposeront sur une architecture ouverte modulaire et sur le moteur d'intelligence artificielle *Skyborg* déjà mis au point. Les Américains développent également des drones consommables aérolargués (par exemple dans le cadre du programme *Longshot* de la *Defense Advanced Research Projects Agency*). En fait, les conceptions de Lockheed Martin ou encore les *wargames* effectués par le

Mitchell Institute laissent penser que les États-Unis se dirigeront probablement à terme vers une famille de CCA plus ou moins performants, pour les uns consommables, pour les autres récupérables, avec des solutions de mise à poste variées, pour les derniers « *exquisite* » – drones de renseignement ou *Unmanned Combat Air Vehicle* (UCAV) très sophistiqués – en plus petit nombre. Les experts qui ont participé aux travaux du Mitchell Institute portant sur plusieurs missions de *counterair* ont privilégié dans la phase initiale des combats l'emploi massif de CCA consommables à des fins de leurrage, d'ISR, de combat aérien collaboratif et de relais de communication, très loin en avant des chasseurs de cinquième génération, avant d'engager des CCA récupérables plus sophistiqués, une fois les capacités adverses affaiblies, afin de démultiplier la couverture du dispositif ami. Ils n'ont pas utilisé les solutions d'UCAV qui étaient à leur disposition.

De multiples pays suivent l'exemple américain avec des moyens forcément plus limités :

- ⇒ Les Britanniques, avec BAE Systems, développent leurs solutions de RC en lien avec le *Global Combat Air Programme* (GCAP) *Tempest*, en l'occurrence deux types de RC mis en œuvre depuis la terre, et récupérables, léger et lourd, de niveaux de sophistication différents.
- ⇒ L'Australie coopère avec Boeing sur un concept similaire au CCA américain avec le MQ-28 *Ghost Bat*. Ce modèle australien inspire également les Coréens, qui travaillent à un drone ailier en mesure d'accompagner les versions avancées de leur chasseur KF-21 *Boramea*.
- ⇒ Le Japon lui aussi développe un RC en mesure d'opérer avec son futur chasseur F-X dans les années 2030, recevant en la matière l'appui des Américains.
- ⇒ Du côté des compétiteurs stratégiques, la situation de la Russie est la plus incertaine. Moscou travaille au développement de drones ailiers de type UCAV comme le S-70 *Okhotnik* ou le *Grom* mais les sanctions occidentales et le manque de solutions de propulsion ralentissent considérablement ces programmes.
- ⇒ La Chine est dans une bien meilleure posture et développe, parmi une large gamme de drones, une famille de systèmes de combat collaboratif pour opérer en MUM-T avec les chasseurs habités, en particulier le J-20 : les *Feihung* FH-95 turbopropulsés d'ISR et de guerre électronique et FH-97 de combat, assez proches des modèles de CCA américains récupérables.
- ⇒ L'Inde développe également son système de systèmes, le *Combat Air Teaming System* (CATS) de Hindustan Aeronautics Limited, comprenant le chasseur habité *Tejas* comme « *mothership* » et plusieurs RC, en particulier le CATS *Warrior*, assez proches des MQ-28 et XQ-58, le CATS *Hunter*, un RC de type missile de croisière récupérable, ainsi que des munitions maraudeuses ALFA.
- ⇒ La Turquie, qui a mis sur pied un modèle de puissance aérienne fortement dronisée, tant pour sa BITD que pour compenser les vicissitudes de ses programmes d'avions d'arme, poursuit aussi le développement de ses propres briques de RC en MUM-T avec le futur chasseur F-X *Kaan* : UCAV supersonique *Kizilelma* de Bayraktar, drone furtif *Anka-3*, drones consommables *Super Simsek* et *Autonomous Wingman Concept* de Turkish Aerospace.

On remarque que pour la plupart de ces forces aériennes, la maturation des briques technologiques constitutives de ces systèmes de drones et du MUM-T rencontre le besoin critique de compenser une déficience d'épaisseur des flottes d'avions de combat classiques, laquelle peut avoir des ressorts multiples.

Qu'en tirer pour le système de combat aérien du futur (SCAF) et ses systèmes de drone aérien de combat collaboratif ? Le cas français est à bien des égards similaire à celui de plusieurs de ces puissances. Certes, avec la trajectoire fixée par la LPM, la puissance aérienne française future devrait bénéficier de multiples avancées capacitaires avec, en ligne de mire, un *Next Generation Fighter* apportant toutes les plus-values d'un appareil de combat de nouvelle génération, indispensables dans le champ de bataille du futur. Cela étant, le premier défi que doivent relever les RC est de corriger le manque d'épaisseur de cette puissance aérienne qui devrait continuer de s'accroître et deviendra de plus en plus problématique à l'aune de la modernisation des IADS d'un nombre croissant de puissances ou encore des incertitudes croissantes quant à la réassurance américaine. Les conséquences d'un tel étiolement sont connues : il affecte l'aptitude à satisfaire les besoins dans les différentes fonctions stratégiques ; en intervention plus spécifiquement, il rend l'attrition insoutenable, réduit le champ des options opérationnelles disponibles, ne permet pas de maintenir des dispositifs permanents, par exemple pour le ciblage d'opportunité.

Au-delà de cette question d'épaisseur, les RC peuvent aussi qualitativement accroître les capacités de la puissance de combat aérienne : en fournissant une capacité « *stand-in* » (utilisable dans la bulle d'engagement des moyens adverses), ils accroissent la masse pénétrante de la puissance aérienne ; ils permettent de disperser, de désagréger les capacités de renseignement et d'engagement/combat, rendant ces dernières plus résilientes et améliorant la couverture spatiale et temporelle des dispositifs. La diversité des solutions de mise à poste, réellement multimilieux, est de nature à accentuer la flexibilité et la disponibilité de la puissance aérienne.

À bien des égards, les réflexions d'Airbus et de MBDA d'une part, et celles des experts américains, mises en exergue par les travaux du Mitchell Institute déjà évoqués, d'autre part, convergent vers des types de solutions assez comparables, dans le cadre d'une architecture SCAF qui est du même ordre que celle du NGAD américain. Il en va ainsi de la nécessité de réduire le « coût par effet » par un mix de systèmes perdables, qu'ils soient consommables ou récupérables, aux solutions de mise à poste variées. De multiples conditions sont nécessaires pour les réaliser. Parmi celles-ci, on peut mentionner la définition des compromis entre performances opérationnelles et coût, le besoin de développer des équipements et munitions spécifiques, l'indispensable architecture de connectivité et des solutions d'autonomie tant pour la plateforme habitée dont l'équipage aura à gérer les missions de ces RC que, évidemment, pour les drones eux-mêmes. L'autonomie de ces machines devra être alors « encadrée » par des règles d'engagement très strictes. La gestion des actions de ces drones peut se faire à deux niveaux selon nous : au niveau du chef de mission évidemment, ce qui est le plus souvent envisagé (d'où la notion de drone ailier), mais aussi potentiellement au niveau de la fonction de *Battle Management Command and Control* (BMC2), qui sera elle-même de plus en plus distribuée. Les Américains soulignent que le degré d'autonomie à accorder aux drones dans le cadre de ces règles d'engagement et le niveau de gestion de leurs actions sont variables et interdépendants. Ils découleront en particulier du contexte opérationnel, notamment d'un environnement électromagnétique plus ou moins *Disconnected*,

Intermittent, Limited (DIL), affectant le fonctionnement du *cloud* de combat, tissu conjonctif du système de systèmes.

Sur le plan opérationnel, ces RC peuvent transformer la réalisation de l'ensemble des missions, notamment :

- ⇒ Pour la fonction renseignement, en fournissant des réseaux de capteurs pénétrants étendant considérablement la couverture des dispositifs ISR ;
- ⇒ Dans le domaine du *counterair*, en fournissant des capacités de leurrage, de brouillage, de ciblage et d'engagement déportées en collaboration avec les chasseurs maintenus en arrière, autorisant d'une part les modes d'action de désorientation et de saturation, indispensables à l'aveuglement et à la désintégration des systèmes intégrés de défense aérienne adverse (tant en SEAD qu'en chasse) ; d'autre part la création de dispositifs de ciblage d'opportunité permettant un effort soutenu de SEAD sur le temps long en environnement semi-permissif ;
- ⇒ Dans le domaine de *counterland*, en accroissant la masse pénétrante en début de campagne puis le maintien de dispositifs couvrant de grandes zones, plus longtemps, permettant de démultiplier les capacités de ciblage d'opportunité en interdiction, des dispositifs également nécessaires pour accentuer la disponibilité en appui aérien rapproché ;
- ⇒ En fournissant des réseaux de capteurs avancés et de relais de transmission développant la portée et la robustesse de la fonction de *Battle Management C2* (BMC2).

En conclusion, les pistes d'emplois potentiels des RC dans le combat aérien futur pour recréer cette « masse abordable » dont parlent les Américains et dont les Européens ont cruellement besoin ne manquent pas. Néanmoins, de multiples défis se posent pour tirer pleinement parti du potentiel de ces systèmes.

Il nous semble que c'est bien la question de l'efficacité de ces systèmes par rapport aux chasseurs habités qui se pose. Cette efficacité dépend du délicat compromis entre, d'un côté, le caractère perdable que doivent conserver ces engins pour les acquérir en nombre suffisant, de l'autre, les seuils de performance et de fiabilité, un compromis d'autant plus difficile à trouver qu'il convient d'anticiper, entre autres, la confrontation avec des systèmes intégrés de défense antiaérienne (*Integrated Air Defense System – IADS*) transformés pour survivre à la saturation. Ensuite, la conception d'emploi de ces RC devra nécessairement se mouler dans une excellente intégration multimilieux / multichamps permettant d'optimiser les synergies. Ce qui pose la question de l'agilité du C2 des dispositifs mettant en œuvre ces drones mais également la question de l'interopérabilité multinationale entre les systèmes de systèmes SCAF, NGAD, GCAP et autres. Sur le plan des moyens techniques, cela suppose que les *clouds* de combat soient effectivement développés comme prévu. En la matière, si cette construction du MUM-T reposera en partie sur des technologies existantes, par exemple en matière de connectivité, elle se fonde également sur des présupposés technologiques qui restent encore à démontrer, notamment en matière d'intelligence artificielle, en particulier pour les plateformes habitées devant gérer les missions.

Ces différentes conditions plaident bien sûr pour un développement incrémental, débutant le plus tôt possible, en ce qui concerne tant les RC que le *cloud* de combat, afin de défricher les solutions concrètes à ces multiples défis, ce que les démonstrations déjà entreprises ou prévues tendent heureusement à indiquer.

Introduction

Les systèmes de drones ont déjà transformé la guerre aérienne depuis au moins vingt-cinq ans. Ils sont passés du statut de capteurs d'appoint, qu'ils ont eu pendant plusieurs décennies, à celui de pilier des fonctions renseignement, enfin à celui d'indispensables capteurs et effecteurs que tout le monde reconnaît désormais, décliné de multiples façons dans les guerres récentes, de la Libye à l'Ukraine. Les années et décennies à venir laissent augurer des transformations encore plus significatives dans la robotisation du combat aérien.

Ces transformations sont en premier lieu poussées par les évolutions technologiques à venir, en particulier les perspectives de maturation de l'intelligence artificielle : systèmes non plus simplement télépilotes mais partiellement autonomes, *cloud* de niveau tactique permettant la décentralisation au niveau des plateformes de capacités de décision encore aujourd'hui réservées à des postes de commandement à distance voire hors théâtre, services collaboratifs entre les systèmes de mission de plateformes variées, habitées et non habitées, ou encore miniaturisation des équipements et armements, etc. Ces évolutions technologiques rencontrent de multiples autres évolutions. Tout d'abord, les plateformes « habitées », à la sophistication et aux performances opérationnelles croissantes, sont de plus en plus onéreuses et ne peuvent plus être acquises dans des volumes similaires à leurs aïeules, condamnant les structures de force aérienne à une inexorable érosion. Dans le même temps, le retour des affrontements conventionnels de haute intensité est synonyme d'environnements peu permissifs, ce d'autant que les défenses antiaériennes connaissent, elles aussi, des améliorations significatives.

Conséquence de ces évolutions, la plupart des forces aériennes des grandes puissances déclinent le futur de leurs capacités de combat autour de la notion de famille de systèmes, voire de systèmes de systèmes, faisant opérer conjointement les plateformes pilotées *in situ* et les systèmes de drones, censément moins coûteux, permettant aux forces aériennes de s'engager avec moins de risques et de retrouver de l'épaisseur. Le système de combat aérien futur (SCAF), qui doit représenter l'avenir de la puissance aérienne française, n'échappe pas à cette règle du partenariat entre éléments habités et non habités. Là encore, il s'agit d'un système de systèmes intégré dans un *cloud* de combat, le *New Generation Weapon System* (NGWS), composé d'une plateforme habitée, le *Next Generation Fighter* (NGF) et de systèmes de drones, en l'occurrence les *Remote Carriers* (RC), et des différents armements dotés de capacités d'accès au *cloud*.

Cette vision d'un système fondé sur le partenariat entre avions habités et drones est devenue tellement évidente que sa nécessité n'est plus guère questionnée. Toutefois, de nombreux experts s'interrogent encore sur le manque de visions précises quant à l'emploi de ces systèmes. Cette note propose donc une réflexion sur cette thématique. La première partie résume l'état de l'art des connaissances relatives aux différents projets de systèmes de

systèmes et de drones équivalents aux *Remote Carriers*, à commencer, évidemment, par les Américains. La seconde partie est consacrée à l'analyse du cas français. Dans la mesure où il s'agit d'une note et non d'une étude technico-opérationnelle, ce travail est nécessairement limité dans la granularité analytique. Seront donc proposés aux lecteurs quelques jalons, questionnements et pistes exploratoires.

Quelques précisions terminologiques s'imposent tant les termes employés dans la littérature spécialisée peuvent prêter à confusion :

- ⇒ Tout d'abord, la traduction du terme de « *Remote Carrier* » (RC) n'est pas aisée. On le traduit souvent par « effecteur déporté » mais les drones considérés ne sont pas forcément des effecteurs (au sens attribué classiquement à cette notion, désignant les moyens exerçant directement des effets sur l'adversaire ou l'environnement). Même une traduction plus large telle que « capteurs et/ou effecteurs déportés » ne saisit pas tous les emplois possibles de ces systèmes. On proposera donc le terme plus inclusif de « systèmes de drones aériens de combat collaboratif ». Néanmoins, afin de ne pas surcharger le document d'abréviations, on conservera celle de RC dans le corps du texte ;
- ⇒ Dans la plupart des concepts envisagés, une distinction est faite entre drones « consommables » (« *expendable* »), c'est-à-dire à usage unique, à l'instar d'une munition, drones « récupérables » (« *recoverable* »), réutilisables pour plusieurs missions mais restant néanmoins « perdables » (« *attritable* »), dont la perte potentielle est donc intégrée dès la conception. Les définitions peuvent cependant varier. Enfin, les concepts envisagent une catégorie de drones plus sophistiqués échappant à ce paradigme, que l'on continuera de qualifier d'*Unmanned Aerial Combat Vehicle* (UCAV) ;
- ⇒ La notion très employée de *Loyal Wingman*, qualifiant l'adjonction d'un ou plusieurs drones à une patrouille de chasseurs habités, sera traduite par « drone ailier ». Gardons cependant à l'esprit qu'il ne s'agit là que de l'un des multiples emplois à considérer pour ces RC ;
- ⇒ Ensuite, pour qualifier l'action collaborative entre les éléments de ces systèmes de systèmes de combat aérien, y compris le NGWS, nous reprendrons le terme américain le plus largement employé de *Manned-Unmanned Teaming* (MUM-T). Cette appellation générique ne doit cependant pas masquer que cette action collaborative va bien au-delà de la relation entre une plateforme habitée et un drone mais peut inclure celle entre drones, voire entre drones et armements.

Les différents projets de systèmes de drone aérien de combat collaboratif dans le monde

1. Les modèles de *Collaborative Combat Aircraft* américains

À bien des égards, la logique de système de systèmes définie pour le SCAF reprend l'économie générale des projets de *Next-Generation Air Dominance* (NGAD) américains au sein desquels une nouvelle génération d'appareils habités devra opérer de concert avec des systèmes de drones, maintenant appelés *Collaborative Combat Aircraft* (CCA), comparables à nos *Remote Carriers* (RC). Notons qu'il existe chez les Américains deux projets de NGAD et de CCA, celui de l'*US Air Force*, le plus vivement débattu sur la place publique, et celui de l'*US Navy*.

1.1. Les CCA dans l'*USAF*

Pour l'*US Air Force*, les CCA sont maintenant au cœur des conceptions de la puissance aérienne américaine dont elle est la dépositaire principale. Cependant, si les recherches et expérimentations abondent depuis des années, si l'intention de les transformer en acquisition de moyen terme semble maintenant bien ancrée, si les budgets initiaux sont débloqués, la mise en œuvre de ces systèmes sur le plan tant opérationnel qu'organique n'en reste pas moins nimbée de bien des incertitudes.

1.1.1. La maturation d'une vision des drones dans un système de systèmes

Les programmes de drones ont connu, depuis la guerre du Vietnam, une histoire tortueuse au sein de l'*US Air Force*. C'est d'ailleurs l'armée israélienne et non l'*USAF* qui a été à la pointe du développement et de l'emploi de ces systèmes pendant plusieurs décennies. Il a fallu la maturation de briques technologiques majeures, comme les communications par satellites, le GPS et surtout l'explosion des besoins de surveillance générée par les grandes guerres irrégulières qui ont suivi le 11 septembre 2001 pour faire franchir, au sein de l'*USAF*, à ces systèmes télépilotes, en particulier les drones MALE de théâtre MQ-1 *Predator* puis MQ-9 *Reaper*, un vrai « seuil d'institutionnalisation » (c'est-à-dire en résumé le seuil de capacités à partir duquel l'institution estime ne plus pouvoir se passer dudit système). Cependant, dans le même temps, le développement de la génération de drones, celle des systèmes conçus pour le combat en environnement non permissif, les *Unmanned Combat Aerial System* (UCAS), a de nouveau pâti de multiples attermoissements, faute d'une vision claire du besoin. En témoigne

le retrait de l'USAF en 2006 du programme de *Joint-UCAS* qu'elle menait avec le X-45, laissant la *Navy* poursuivre seule les travaux avec son X-47. Bien sûr, le développement de nombre de technologies classifiées s'est poursuivi. En témoignent les systèmes furtifs ISR RQ-170 et RQ-180.

À partir des années 1990, devant la prolifération des capacités sol-air longue portée, puis les programmes de chasseurs de cinquième génération développés par la Russie et la Chine, mais aussi les capacités antisatellites ou encore cyber, bref les capacités de « déni d'accès et d'interdiction de zone » (A2/AD), l'*US Air Force* considère que la supériorité de la puissance occidentale est compromise à terme. La situation nécessite de mieux intégrer les opérations dans les différents milieux (concept de *Multidomain Operations* – MDO) mais aussi de repenser la structure de force et les systèmes d'armes futurs de l'USAF. L'*Air Dominance Initiative Study* classifiée, menée en 2014 par la DARPA, estime ainsi qu'« [a]ucune nouvelle technologie ou plateforme ne peut à elle seule dissuader et vaincre les systèmes adverses sophistiqués et nombreux qui sont en cours de développement »¹. L'*US Air Force Future Operating Concept* (AFFOC), concept opératoire devant guider la stratégie capacitaire de l'USAF, publié en 2015, met l'accent sur l'exigence d'une forte agilité opérationnelle de la puissance aérienne future. L'un des attributs de cette agilité doit être un « *mix capacitaire équilibré* » : « *La future US Air Force conservera un nombre adapté de moyens haut de gamme pour opérer contre des adversaires qui représentent des menaces avancées [...]. Pour mener les opérations suivantes ou un effort de guerre irrégulière soutenu dans un environnement permissif ou semi-permissif, les forces de l'USAF utiliseront principalement des moyens à moindre coût et moindres capacités [...]* »². L'*Air Superiority 2030 Flight Plan*, élaboré par une équipe de l'USAF en 2016, en arrive à des conclusions similaires : « *La structure de forces projetée par l'USAF en 2030 n'est pas en mesure de combattre et de remporter la victoire face à cet éventail de capacités adverses potentielles. Le développement et la fourniture d'une supériorité aérienne dans l'environnement hautement contesté de 2030 exigent une focalisation multidomaine sur les volumes [capacity] et performances [capabilities]* »³.

En bref, non seulement la modernisation des « *capabilities* » (capacités au sens de la performance opérationnelle) doit être activement poursuivie mais la « *capacity* » (la capacité au sens du volume de force) anticipée jusqu'alors n'est plus considérée comme suffisante. La vacance des acquisitions des années 1990, l'arrêt prématuré du F-22 et les retards du F-35 condamnent la structure de force de l'USAF à un vieillissement que ne peuvent compenser les nouvelles acquisitions, donc à une réduction structurelle de la masse de sa fonction engagement/combat. Pour autant, le constat peine à se traduire concrètement dans la stratégie programmatique, en particulier lorsqu'il s'agit de définir les spécifications de l'appareil de combat futur qui doit succéder au F-35. En la matière, l'USAF continue de se concentrer sur un appareil de *Penetrating Counter-Air* (PCA) assez monolithique. Le *Congressional Budget Office* (CBO) estime en 2019 que le coût d'acquisition unitaire de ce PCA (assumant un scénario de plus de 400 acquisitions) serait de l'ordre de 300 M\$, plus de deux

¹ [Statement Testimony of Mr. Alan R. Shaffer](#), Principal Deputy, Assistant Secretary of Defense for Defense Research and Engineering before the United States House of Representatives Committee on Armed Services, Subcommittee on Emerging Threats and Capabilities, mars 26, 2014, p. 18.

² Deborah Lee James, Mark Welsh, [Air Force Future Operating Concept, A View of the Air Force in 2035](#), septembre 2015, p. 10.

³ Enterprise Capability Collaboration Team, [Air Superiority 2030 Flight Plan](#), mai 2016, p. 3.

fois le prix d'un F-35. L'évolution suit en cela la loi d'Augustine⁴. Fin 2018, consciente de cette impasse, l'*US Air Force*, sous la houlette du général Goldfein et de son responsable des acquisitions, le « disruptif » Will Roper, oriente définitivement la conception de ce qu'il convient désormais d'appeler le *Next-Generation Air Dominance* (NGAD) vers un portefeuille de systèmes⁵.

Dans les deux cas, le drone va s'imposer comme la solution de complément au chasseur habité. Sur le plan des performances capacitaires, le *Manned-Unmanned Teaming* doit être un pilier du combat collaboratif. L'AFFOC envisage par exemple un F-35D opérant de concert avec des RPAS *multi-mission long-range* (MMLR) mis en œuvre depuis le sol, en supériorité aérienne et défense antimissile de croisière, avec une distribution dynamique du C2 de ces drones entre chasseurs et opérateurs au sol en fonction de la dégradation de l'environnement électromagnétique. Surtout, le drone devient la solution à la crise de *capacity* dans laquelle s'enfonce le *Service*. Le général Holmes, *Deputy Chief of Staff for Strategic Plans and Requirements*, se fait comme d'autres, dès 2016, l'avocat d'un système de systèmes de supériorité aérienne reposant sur des « *Loyal Wingmen* » porteurs de missiles⁶. Le Mitchell Institute de Dave Deptula, toujours très influent, fait aussi de ce MUM-T un de ses chevaux de bataille en 2017-18 : le drone de combat employé ainsi doit permettre le retour à une « résilience numérique » en haute intensité, préserver le potentiel des appareils habités sophistiqués des missions « *low-end* » et assurer des économies substantielles en matière d'entraînement et de maintenance en temps de paix⁷.

L'effort de rationalisation de la stratégie capacitaire actuelle de l'USAF autour de sept impératifs opérationnels expose l'approche retenue. Le quatrième de ces impératifs, la *Tactical Air Dominance*, résume bien la démarche système de systèmes : « *La famille de systèmes NGAD est, en partie, une nouvelle plateforme avec équipage. Elle comprendra également des avions de combat aérien sans équipage faisant équipe avec la plateforme avec équipage, les systèmes de connectivité entre ces plateformes, les capteurs qui les soutiennent, la série d'armes que les plateformes peuvent transporter, et bien plus encore. Ce concept inclut théoriquement un ou plusieurs avions de combat inhabités opérant en formation contrôlée par un seul avion piloté moderne – principalement la plateforme pilotée NGAD, mais aussi le F-35* »⁸.

1.1.2. La nature du CCA : un concept d'« affordable mass » encore en débat

Si les drones ne s'installent comme éléments déterminants de la puissance de combat aérienne qu'à la fin de la décennie 2010, si l'*US Air Force* ne poursuit pas avec le programme

⁴ La 16e loi de Norman Augustine, ex-PDG de Lockheed Martin, qui veut qu'en raison de l'accroissement du coût des plateformes, le Pentagone ne soit en mesure de se doter que d'un unique appareil en 2054. Par rapport à cette estimation de 1977, la courbe tend en réalité depuis à s'aplatir en raison de la durée plus longue des programmes.

⁵ Steve Trimble, « [The Nearly Decade-long Story That Led To NGAD Flight Demonstrator](#) », *Aviation Week Network*, 21 septembre 2020. Le projet de Roper de développer rapidement et d'acquérir successivement une série de types de chasseurs moins coûteux qu'un long programme classique a néanmoins été abandonné.

⁶ Matt, « [Innovation and Air Dominance: Human-Machine Combat Teaming, A SoS Solution to Air Superiority – Part II](#) », blog *American Innovation*, 18 mai 2016.

⁷ Lt Gen David Deptula, USAF (Ret.), Douglas Birkey, Maj Gen Lawrence Stutzriem, USAF (Ret.), [Manned-Unmanned Aircraft Teaming: Taking Combat Airpower to the Next Level](#), Mitchell Institute for Aerospace Studies, 10 juillet 2018.

⁸ Department of the Air Force, [Operational Imperatives](#), 2023.

de drone furtif X-45, cela n'empêche nullement le *Service* de développer, dès la fin des années 2000, des feuilles de route pour la mise au point des briques technologiques concernant l'ensemble des familles de drones, des systèmes nano à ceux de grande dimension (qui succéderont au *Global Hawk*), en passant par les systèmes *small* (successeur des *Raven* et *Small Eagle*) et *medium* (qui doivent succéder aux *Reaper*). À vrai dire, l'emploi à terme de ces MQ-X futurs dans les missions de guerre électronique, de relais de C2, de neutralisation des défenses antiaériennes (*Suppression of Enemy Air Defenses – SEAD*) ou encore d'appui aérien rapproché (*Close Air Support – CAS*) est dans l'esprit de tous depuis plus de douze ans.

Récemment, le principal concept de drones de combat devant être employés en MUM-T dans le cadre du système de systèmes de combat a été rebaptisé CCA. Il semble exister cependant plusieurs autres programmes, pour l'essentiel classifiés, notamment l'*Off-Board Sensing System* (OBSS), c'est-à-dire un capteur déporté, sur lequel peu de détails ont été divulgués.

Dans la logique de mix capacitaires équilibrés, pour pouvoir recréer de la masse, le bas coût s'impose forcément comme critère majeur des drones du système de systèmes. On le retrouve logiquement dans les spécifications des programmes de R&D correspondants. Ainsi, l'Air Force Research Laboratory (AFRL) lance en 2016 un ensemble de développements technologiques, le *Low Cost Attritable Aircraft Technology* (LCAAT), dont une *Low-Cost Attritable Strike Unmanned Aerial System Demonstration* (LCASD) qu'il contractualise avec Kratos Defense & Security Solutions, Inc.

Le concept de CCA ne semble pas encore entièrement fixé sur ce plan. Les Américains tendaient jusqu'en 2021 environ à distinguer les termes « *expendable* », c'est-à-dire un engin consommable, que l'on ne peut utiliser que pour une seule mission, et « *attritable* », récupérable pour une série de missions mais que l'on peut se permettre de perdre dans un environnement non permissif où l'on hésiterait à risquer une plateforme « *exquisite* », degré ultime de la sophistication et du coût. Un glissement sémantique s'est opéré depuis, puisque la notion de drone « *attritable* » est remplacée par celle de « *affordable mass* » (masse abordable). Elle semble marquer un changement du paramètre principal, à savoir le coût du système et non plus le nombre de missions envisageables⁹. Cependant, cette notion de masse abordable elle-même évolue. Lors de l'*Air and Space Forces Association's Warfare Symposium* en mars 2023, le général Jobe, directeur plans / programmes de l'*Air Combat Command* (ACC) a précisé que la prise de risque était une question de C2 opérationnel, pas de *design* de l'appareil. Le général White, commandant le bureau programme des avions de combat, précise que si l'appareil n'apporte pas de capacités significatives au combat, son caractère abordable ne sert pas à grand-chose : « *La masse abordable doit donc être fondée sur le caractère abordable et sur la capacité [capabilities]... Nous devons commencer à penser sous l'angle de la létalité pour le développement* » de ces drones¹⁰. Il semble donc que l'on soit dans une phase, assez classique dans les institutions militaires, d'expansion des spécifications du système. Par exemple, l'USAF commence ainsi à mettre l'accent sur une charge utile plus importante, et donc une masse accrue, sur le ravitaillement en vol.

⁹ Joseph Trevithick, « [Here's Why This New Mysterious Air Force Drone Contract Is A Big Deal \(Updated\)](#) », *The War Zone*, 27 octobre 2021.

¹⁰ Joseph Trevithick, Tyler Rogoway, « [Signs Point To Less Range, Higher Performance For CCA Drones](#) », *The War Zone*, 28 novembre 2023.

Dans ce contexte, la Commission des forces armées de la Chambre des Représentants a initialement proposé de fixer dans son projet de loi de défense 2024 (*National Defense Authorization Act*, NDAA FY24) des limites de coût d'acquisition unitaire pour ces systèmes : 3 M\$ pour un CCA *expandable*, 10 M\$ pour un CCA *attributable*, 25 M\$ pour un appareil *exquisite*. Les parlementaires sont à cet égard assez proches des préconisations des chercheurs du Mitchell Institute qui poussent pour une graduation des options, en particulier des équipements de mission entre un extrême *expandable* à 2 M\$ et un autre, *sophisticated*, à 20 M\$¹¹. Cela étant, la NDAA pour 2024 ne retient pas cette proposition. De fait, le secrétaire de l'*Air Force*, Frank Kendall, était évidemment en désaccord. Il évoque de façon plus nébuleuse « *un quart à un tiers du coût du F-35* », soit entre 20 et 27 M\$ si l'on se réfère au coût unitaire du dernier lot de F-35A, d'environ 82 M\$. Le CCA se déclinera également selon deux incréments au moins¹². Dans le même temps, selon le général Lawhead, commandant l'*Air Force Futures*, « *il est évident qu'une fois qu'un CCA atteint le coût d'un F-35, il est préférable d'acheter un F-35* ». Le débat sur la nature même du CCA et le compromis entre les performances capacitaires, le coût et la masse générale ne semble donc pas clos au sein de l'USAF. La demande d'information à l'industrie émise en octobre n'est donc pas très précise. Le seul élément concret est la motorisation : l'*Air Force* évoque une spécification de poussée se situant entre 3 000 et 8 000 lb, qui dépasse la plupart des offres disponibles... La *Navy*, comme nous le verrons plus loin, n'est guère plus claire.

Dans ce contexte, la NDAA FY24, si elle se montre convaincue de l'apport potentiel des CCA, déplore que « *ni le secrétaire à l'Air Force ni le secrétaire à la Navy n'ont suffisamment expliqué aux commissions de défense du Congrès : (1) comment les départements peuvent acquérir les véhicules à un prix abordable et en nombre suffisant pour exécuter le concept d'opérations ; ou (2) comment le programme est défini pour s'appliquer aux défis à court, moyen et long termes, en particulier en ce qui concerne les capacités CCA non pilotées qui peuvent être utilisées en mission soit comme ressource attribuable, soit comme ressource récupérable* »¹³. Le Congrès enjoint donc à l'*Air Force* et à la *Navy* de clarifier le concept dans un rapport à fournir en mai 2024 et, pour le budget FY25, des matrices, actualisables, détaillant la maturation technologique et industrielle, l'estimation de coût et les paramètres de performance clés.

1.1.3. Les quelques éléments affichés du programme CCA

En dépit de ces incertitudes, le programme CCA se fonde sur quelques éléments bien établis. Tout d'abord, pour réduire les coûts, les CCA de l'*Air Force*, de la *Navy* et de l'*US Marine Corps*, lui aussi intéressé, partageront quatre éléments :

- ⇒ L'architecture plateforme ;
- ⇒ L'architecture de communication ;
- ⇒ Le segment de contrôle ;
- ⇒ L'architecture d'intelligence artificielle de pilotage autonome du drone.

¹¹ Mark Gunzinger, Lukas Autenried, [Understanding the Promise of Skyborg and Low-Cost Attributable UAVs](#), Mitchell Institute for Aerospace Studies, janvier 2021.

¹² Joseph Trevithick, « [CCA Loyal Wingmen Drones To Cost Quarter To Third Of An F-35](#) », *The War Zone*, 13 novembre 2023.

¹³ US House of Representatives, « [Sec. 224 – Next Generation Air Dominance family of systems development program accountability matrices](#) », in *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2024 Conference Report to accompany H.R. 2670*, décembre 2023, p. 2397.

Cette dernière sera fondée sur le *Skyborg Autonomous Core System (ACS)*, dont le développement a été l'objet de l'un des trois projets d'avant-garde de l'USAF et fait partie du LCAAT. C'est Leidos qui a été sélectionné comme le *Skyborg System Design Agent (SDA)* intégrant de multiples autres contributeurs, par exemple le MIT. *Skyborg ACS* est un moteur d'IA « universel » conçu selon une architecture modulaire permettant de s'accommoder de différents types de plateformes et d'équipements de mission, par exemple de capteurs¹⁴. *Skyborg* n'est évidemment pas la seule initiative de développement de l'IA pour les systèmes autonomes. On mentionnera par exemple l'*Air Combat Evolution (ACE)* de la DARPA, qui aurait également nourri *Skyborg*. L'ACS a été intégré sur plusieurs systèmes dont les *Kratos UTAP-22* et *XQ-58*, le *MQ-20 Avenger* de GA-ASI et le *F-16 expérimental X-62 Vista*. Cela étant, selon Heather Penney du Mitchell Institute, l'une des limites de ce *Skyborg* est qu'il n'intègre pas nativement toutes les modalités du MUM-T avec un opérateur humain¹⁵. Il semble néanmoins que les travaux de *Human-System Interface* se poursuivent en ce sens. Peu de choses ont été publiées sur les techniques d'IA intégrées par Leidos. Cependant, en juillet 2023, l'AFRL a réalisé un vol tactique de trois heures sur *XQ-58* mentionnant à cette occasion les algorithmes de *Machine learning* développés par son *Autonomous Air Combat Operations team* dans le cadre de *Skyborg* et alimentés en données par des millions d'heures de simulation et les expérimentations réelles des drones cités¹⁶.

Le CCA doit relever d'une architecture ouverte modulaire, la *Modular Open Systems Approach* étant devenue un mantra du développement des programmes d'armement aux États-Unis. Cela étant, les équipements proposés par les compétiteurs prédatent la diffusion des grands standards *Future Airborne Capability Environment (FACE)* et *Sensor Open Systems Architecture (SOSA)*. Il sera intéressant de voir si leurs futurs systèmes devront s'y conformer.

Comme l'ensemble de la stratégie capacitaire américaine face à la Chine, le programme est marqué du sceau de l'urgence. La cible initiale a été fixée par le Secrétaire Kendall à 1 000 CCA devant opérer en coopération avec 300 F-35 et 200 chasseurs NGAD qui doivent commencer à intégrer l'USAF à partir de 2030. L'*Initial Operational Capability (IOC)* de ces CCA est espérée pour 2028. Le programme est évalué à 6 Mds\$. La NDAA FY24 lui attribue 500 M\$ de crédits de recherche, développement, tests et évaluations, en particulier pour mettre sur pied une unité d'expérimentation opérationnelle.

1.1.4. Les types de systèmes envisageables

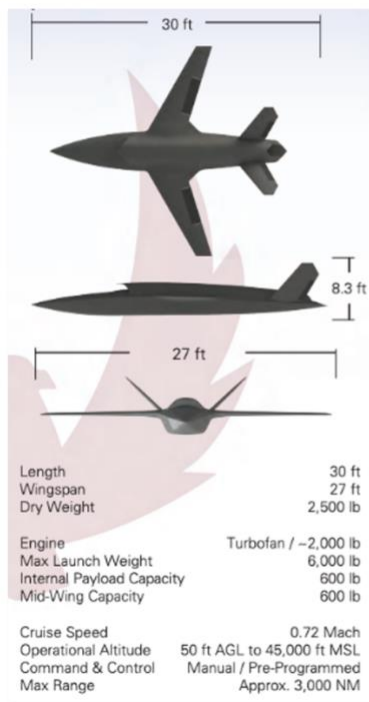
Compte tenu de ces débats, le système qui constituera le CCA reste encore incertain. Pendant plusieurs années, le *XQ-58 Valkyrie* que Kratos développe dans le cadre LCASD a été le drone expérimental « de référence », en quelque sorte. Compte tenu de l'évolution du concept USAF évoquée *supra*, il n'est plus évident que ce *Valkyrie*, très « attritable », et sa motorisation d'une poussée de 2 000 lb fassent l'affaire.

¹⁴ Steve Trimble, « [Skyborg Awards Set Stage For Revolution In Manned-Unmanned Teaming](#) », *Aviation Week and Space Technologies*, Special Topic: Autonomous Technologies, février 2020, pp. 5-7.

¹⁵ Heather R. Penney, [Five Imperatives for Developing Collaborative Combat Aircraft for Teaming Operations](#), Mitchell Institute for Aerospace Studies, Policy Paper, Vol. 38, septembre 2022, p. 18.

¹⁶ « [AFRL – Autonomous Aircraft Experimentation](#) », AFResearchLab, YouTube, 5 juillet 2023 ; Air Force Research Laboratory Public Affairs, « [AFRL artificial intelligence agents successfully pilot XQ-58A Valkyrie uncrewed jet aircraft](#) », 2 août 2023.

Le modèle de « référence » : Kratos XQ-58A Valkyrie



Origine et déroulement du programme

- Constructeur : Kratos Defense & Security Solutions, Inc.
- Développé dans le cadre de la *Low-Cost Attritable Strike Unmanned Aerial System (UAS) Demonstration (LCASD)* lancée en 2016.
- Version démonstrateur / testeur des technologies Kratos pour répondre au cahier des charges USAF LCASD.
- Premier vol en 2019.

Caractéristiques de l'appareil

- Drone de combat réutilisable à faible coût et faible signature radar emportant plusieurs types de charges internes pour les missions *Offensive Counterair* dont la *SEAD* et de *Defensive Counterair*.
- Drone à décollage assisté par fusées JATO, récupérable par parachute et *air bag*. Déployable à partir de lanceurs terrestres ou maritimes en conteneurs.
- Rayon d'action de 1500 milles nautiques avec une charge utile de 500 lb.
- Vitesse maximale de Mach 0.9.
- Baie de chargement interne pour 2 GBU-39 *small diameter bombs* ou mini-drones *ALTIUS-600*.
- Coût d'acquisition unitaire proposé par Kratos : <\$3M jusqu'à 99 unités, <\$2M pour une acquisition de plus de cent systèmes.

Un autre concurrent est le MQ-28 A *Ghost Bat*, développé par Boeing Australie, qui propose une motorisation du même ordre que celle du Kratos. Nous revenons sur ce système dans l'évocation du programme de RC australien, en deuxième section.

L'autre grand concurrent est évidemment General Atomics Aeronautical Systems, Inc. (GA-ASI) qui développe une famille de systèmes, les *Gambit* : *Gambit 1* pour l'ISR tactique, *Gambit 2* comme effecteur déporté de combat air-air, *Gambit 3* pour l'entraînement au MUM-T et *Gambit 4*, une aile volante pour l'ISR de théâtre. Ces systèmes partagent 70 % de composants communs. L'un de ces *Gambit* a été retenu pour le programme OBSS.



Source : <https://www.ga-asi.com/leading-the-way-in-autonomous-collaborative-aircraft>

Ces concepts mis en avant dans le cadre du CCA sont donc principalement des UAS basés à terre et récupérables. Cependant, la DARPA poursuit des travaux de drones aérolargués. Celui ayant reçu le plus de publicité est le X-61 *Gremlins* développé par Dynetics avec Kratos. Le programme vise surtout à expérimenter la récupération en vol par un C-130 de ces engins de la taille d'un drone tactique. Lancé en 2016, il s'est traduit par plusieurs tests en vol de 2019 à 2021. Le budget FY24 indique que les financements se sont achevés en 2022 et on ignore quelle suite l'*Air Force* entend donner à ce programme.

En 2021, la DARPA lance un nouveau programme de drones aérolargués, le *LongShot*. Le concept est celui du *Loyal Wingman* pour les missions de supériorité aérienne, le drone porte-missile air-air opérant de concert, éventuellement très en avant du chasseur NGAD. On ignore s'il s'agit d'un engin consommable ou quel serait son mode de récupération. La phase III engagée en 2023 est confiée à GA-ASI pour la fabrication d'un prototype et les tests de vol (94 M\$). Le premier vol est prévu en 2024.



Source : <https://www.ga.com/ga-asi-poised-to-begin-longshot-flight-testing-phase>

1.1.5. De multiples questions : concept d'emploi ? Gestion organique ? Principes C2 ?

Le concept étant encore en cours de discussion, de multiples questions restent en suspens. Tout d'abord quelles seront précisément les missions de ces CCA ? L'*Air Force* évoque de « nombreuses variantes », la possibilité de confier « cent rôles » à ces CCA. L'accent porte sur le combat collaboratif aérien mais on pense évidemment à la SEAD cinétique et électromagnétique, à l'interdiction, au CAS, au relais de communications, etc. Le général Minihan, qui commande l'*Air Mobility Command*, imagine aussi des CCA comme relais PNT ou employés comme effecteurs déposés en avant, activés à la demande.

Bryan Clark, du Hudson Institute, l'un des chercheurs les plus imaginatifs en matière de nouveaux modes d'action, considère de façon générale que « *Face à un 'peer competitor', l'utilisation de systèmes sans équipage comme extension des unités avec équipage tend à perpétuer les limitations des systèmes avec équipage tout en ne tirant pas parti de la capacité des technologies sans équipage à améliorer la flexibilité et la résilience de la force* »¹⁷. Reliant ces technologies à celles du concept de *Mosaic Warfare* qu'il promeut activement, il considère

¹⁷ Bryan Clark, Dan Patt, [Unalone and Unafraid: A Plan for Integrating Uncrewed and Other Emerging Technologies into US Military Forces](#), Hudson Institute, août 2023, p. 12.

qu'elles devraient être exploitées pour accroître la diversité des modes d'action américains permettant de multiplier les dilemmes posés à l'adversaire, déliés largement des contraintes logistiques et organisationnelles inhérentes aux agrégats de forces composées de moyens habités.

Heather R. Penney du Mitchell Institute soulève des questions du même ordre concernant plus spécifiquement l'emploi des CCA. Ainsi, ces systèmes doivent-ils opérer attachés à une plateforme (*Tethered*), ce que traduit le concept de *Loyal Wingman*, comme déport de capteurs (ce à quoi semble dédié OBSS) et d'armements cinétiques et électroniques en combat collaboratif ? Doivent-ils, au contraire, opérer plus librement, non rattachés (*untethered*) à une plateforme donnée, et être gérés au niveau d'une fonction *Battle Management* de la bataille aérienne plus centralisée ? Selon lui, cette approche permet des emplois en essaim, offre davantage de flexibilité et *in fine* oppose à l'adversaire des modes d'action plus complexes et riches. Il rejoint donc pleinement Clark sur ce point. Notons que cette différenciation porte plus probablement sur le court/moyen terme dans la mesure où le pilote du futur chasseur NGAD devrait pouvoir lui-même se faire déléguer des autorités de *Battle management* en fonction du degré d'autonomie de son système de navigation et d'attaque, et des capacités du *cloud* de combat dans lequel ces éléments s'intègrent¹⁸. Autre question posée par Penney : le contrôle des drones doit-il être « directif » (détaillé) ou plutôt « descriptif », selon les principes du *mission command* ? La seconde solution serait évidemment préférable mais elle suppose le degré d'autonomie le plus avancé.

D'autres questions concernent la gestion organique de ces appareils par l'USAF. L'ACC et d'autres évoquent souvent le « remplacement » des F-16 et des MQ-9 par ces CCA mais la solution passe-t-elle nécessairement par la prolongation d'une organisation en escadrons séparés ? Certains semblent en effet envisager une gestion de ces CCA plus proche de celle des munitions complexes, ce qui implique une distribution de ces drones au sein des escadrons de chasse actuels.

1.2. Conception des CCA dans la Navy

La Navy entend également déployer des CCA au sein de son propre NGAD embarqué sur porte-avions. Comme de coutume, cette particularité l'expose à des défis propres.

Le premier est la masse réduite de ses groupes aériens embarqués depuis vingt ans : à peine cinquante avions de combat contre environ soixante-dix pendant la Guerre froide ; une réduction accentuée par le retrait des KA-6D de ravitaillement en vol, dont le rôle de nounou est alors repris par les F/A-18^E, ponctionnant plus encore la ressource en appareils de combat. Il est vrai cependant que la maintenance du F/A-18, plus simple que celle des F-14, A-6 voire A-7, garantit probablement une plus grande disponibilité opérationnelle du groupe.

En outre, ce remplacement des *Tomcat*, *Intruder* et *Corsair II* par du « tout *Hornet* » s'est traduit par une réduction non négligeable du rayon d'action de combat du groupe aérien. Certes, ce n'est pas vraiment un problème dans les grandes campagnes aériennes en

¹⁸ Voir Philippe Gros, « [Le 'cloud tactique', un élément essentiel du système de combat aérien futur](#) », *Notes de la FRS*, n° 08/2019, 20 juin 2019.

environnement semi-permissif où opère un dispositif *Air Force* de plusieurs dizaines de stations-services volantes. Mais cette déperdition de rayon d'action devient un défi critique dans un schéma d'intervention sur Taïwan, en raison tant de la « tyrannie des distances » de la zone Pacifique que des capacités d'interdiction longue portée de Pékin, qui rendent très difficile le déploiement d'un tel dispositif de ravitaillement. À partir de ce constat, la vulnérabilité des porte-avions (PA) aux missiles antinavires chinois (missiles balistiques DF-21D/DF-26, DF17, missiles YJ-12 de croisière aérolargués par bombardiers, etc.) est l'objet d'âpres débats au sein et en dehors de la *Navy* depuis plus de quinze ans. En découlent les remises en cause de l'emploi du *Carrier Strike Group* comme primo-intervenant dans un conflit de ce type, la montée en puissance des capacités antinavires de la composante surface opérant en groupes autonomes (concept de *Distributed Lethality*) et *in fine* le concept de *Distributed Maritime Operations*, mettant l'accent sur des opérations très dispersées de l'ensemble de la force navale américaine pour maintenir, voire renforcer, son degré de létalité tout en compliquant considérablement le ciblage chinois.

Dans ce contexte, la *Navy* entend développer sa propre famille de systèmes NGAD, centrée sur un futur appareil de combat F/A-XX, pour remplacer le F/A-18 E/F conjointement avec le F-35C. La cible d'acquisition de 260 de ces appareils ne permettra guère à terme d'aller au-delà de l'escadrille à 16 appareils prévue en 2021 par la *Navy* pour son *Carrier Vessel Wing* (CVW) 2030, en complément des 32 à 34 F/A-18/EA-18¹⁹. À terme, vers 2045, l'USN entend donc parvenir à 60 % de plateformes non habitées au sein de ce CVW, soit environ 800 CCA sur les 1 300 appareils embarqués, selon *Aviation Week*²⁰.

En matière d'emploi, il semble que la *Navy* réfléchisse à de multiples options²¹ :

- ⇒ Outre le ravitaillement en vol, qui sera la fonction première du MQ-25 (voir ci-dessous), la plus anciennement évoquée est évidemment l'ISR pénétrant ;
- ⇒ La fonction de *Loyal Wingman* de l'EA-18G *Growler* pour l'attaque électronique et la SEAD est aussi couramment mentionnée ;
- ⇒ La *Navy* pense logiquement, comme les autres institutions, au CCA comme porteur de missiles en combat collaboratif au sein du NGAD. Cela étant, l'amiral Harris, commandant l'*Air Division Warfare* à l'état-major du CNO, met en avant les défis de la mise en œuvre des CCA dans le combat aérien ;
- ⇒ Depuis quelques années, la *Navy* projette également une fonction guet aérien distribué dans laquelle les CCA constitueraient un réseau avec le E-2D *Advanced Hawkeye*, nœud de BMC2 critique du groupe aérien. Dans le cadre des nombreuses modernisations dont l'appareil bénéficie, la *Navy* a lancé en 2021 la modification de l'ordinateur de mission pour pouvoir faire du MUM-T avec les drones²².

¹⁹ Thomas Newdick, « [Navy's Aviation Boss Lays Out Big Vision For Drone-Packed Carriers of The Future](#) », *The War Zone*, 1^{er} avril 2021.

²⁰ Brian Everstine, « U.S. Navy Wants Its Carrier Air Wing 60% Uncrewed », *Aviation Week Network*, 19 septembre 2022.

²¹ Thomas Newdick, *op. cit.*

²² Garrett Reim, « [US Navy looks at manned-unmanned teaming role for E-2D Advanced Hawkeye](#) », *Flight Global*, 19 mars 2021; Howard Altman, « [Keeping The E-2D Advanced Hawkeye On Top Into the 2040s](#) », *The War Zone*, 5 août 2022.

Les contraintes d'embarquement de tels CCA impliquent peut-être un appareil moins volumineux et onéreux que ceux développés par l'USAF. Ce d'autant que la Navy réfléchit également à embarquer ces CCA sur d'autres *Air Capable Ships (ACS)* : porte-aéronefs d'assaut (LHA), base expéditionnaire, destroyers, etc.

Le MQ-25 *Stingray*, qui sera le premier drone opérationnel intégré dans un groupe aérien embarqué, servira également comme système exploratoire de l'emploi et de l'intégration de ces CCA. Rappelons que cet engin, dont la Navy prévoit de déployer, à partir de 2026, cinq à huit appareils par groupe aérien, sera avant tout un ravitailleur en vol avec une mission secondaire de capteur ISR en environnement permissif. Dans la perspective de la maturation du CCA, Boeing a mené en 2022 plusieurs tests virtuels de MUM-T du MQ-25 avec des F/A-18E, E-2D et appareils de PATMAR P-8A *Poseidon*, qui ont pu chacun « tasker » jusqu'à quatre drones pour effectuer une mission de surveillance. Il s'agissait d'un contrôle prescriptif puisque le P-8 et le E-2D n'ont indiqué aux drones que la zone de recherche et les *no-fly zones*. Le moteur d'IA MQ-25 développé par Aurora Flight Sciences a déterminé seul la gestion des contraintes, planifié ses trajectoires et modes de recherche²³.

Comme nous l'avons vu, un niveau maximal d'interopérabilité sera recherché avec l'USAF pas uniquement sur le CCA mais sur l'ensemble de la famille de système NGAD. Par exemple, la Navy évoque la capacité de transférer le contrôle de CCA d'une composante à l'autre.

1.3. D'autres réflexions d'intérêt

1.3.1. La conception des Skunk Works de Lockheed-Martin

La vision du CCA dévoilée en juillet 2022 par John Clark, manager général des Skunk Works (SW) de Lockheed Martin est assez intéressante²⁴. Clark note tout d'abord que dans des opérations aériennes où prime la furtivité, la conception des CCA en termes de vitesse ou de signature radar doit précisément « matcher » avec celle du chasseur opérant en MUM-T. Comme tous les acteurs impliqués dans la définition de ces systèmes, les SW se sont trouvés confrontés au compromis entre engins consommables et engins récupérables. Avoir un drone correspondant bien au chasseur en termes de signature implique un appareil plus coûteux donc devant être récupérable. Le constructeur a envisagé d'ailleurs des engins récupérables par amerrissage, solution semble-t-il abandonnée en raison de la contrainte des opérations navales pour récupérer cette catégorie de drones. De façon générale, le coût des capacités logistiques pour les récupérer est à prendre en compte autant que le coût de leur perte au combat. À l'autre extrémité, Lockheed Martin juge qu'une masse de drones consommables présente de la valeur car elle est de nature à générer beaucoup de confusion au sein de l'IADS adverse. Clark considère enfin que ces drones doivent opérer détachés des chasseurs habités. Au final, la vidéo promotionnelle de LM présente un *distributed teaming* entre les F-35 et une famille de quatre types de drones, par ordre croissant de sophistication :

²³ « [Boeing Demonstrates Open Autonomy Architecture for Manned-Unmanned Teaming with MQ-25](#) », *EDR Magazine*, 6 septembre 2022.

²⁴ Joseph Trevithick, Tyler Rogoway, « [Vision For Future Manned-Unmanned Air Combat Laid Out By Skunk Works](#) », *The War Zone*, 12 juillet 2022 ; Lockheed Martin, « [Introducing the Distributed Team](#) », YouTube, 12 juillet 2022 ; John A. Tirpak, « [Lockheed Martin's Skunk Works Sees Value in MUT, Autonomous Aircraft](#) », *Air and Space Force Magazine*, 11 juillet 2022.

- ⇒ Le *Common Multi-Mission Truck* (CMMT), présenté comme modulaire et consommable, utilisé dans la vidéo de LM comme leurre ou brouilleur mais que l'on peut imaginer également comme munition maraudeuse. Ces drones sont semble-t-il également appelés *SPEED RACER* (*Small Penetrating Expendable Decoy Radically Affordable Compact Extended Range*) si l'on se fie à une autre vidéo²⁵ ;
- ⇒ Le *Tactical Expendable-Combat Air Vehicle* (TE-CAV), un UCAV opérant comme porte-missiles déporté, utilisé dans la vidéo en combat collaboratif air-air avec le F-35 ;
- ⇒ Un drone semble-t-il moins pénétrant, de connectivité SATCOM mais pour lequel la vidéo ne donne pas d'indication d'usage précis ;
- ⇒ Le *Next-Generation Unmanned Aerial System* (NGUAS) plus sophistiqué comme partenaire intelligent et survivable ; une aile volante furtive (dérivée du RQ-170 / *Sea Ghost*) utilisée comme plateforme ISR avancée, *stand-in*, pour le ciblage.



Source : <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2022/investing-distributed-teaming.html>

1.3.2. Les wargames du Mitchell Institute

Le Mitchell Institute a réalisé plusieurs wargames sur l'emploi des CCA en mission de *counter-air* face à la Chine dans le conflit autour de Taïwan à l'horizon 2030. En 2022, des experts opérationnels et industriels ont élaboré dix concepts de CCA, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous²⁶.

²⁵ Lockheed Martin, « [Investing in Distributed Teaming](#) », 14 septembre 2022.

²⁶ Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, [The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare](#), The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, p. 22.

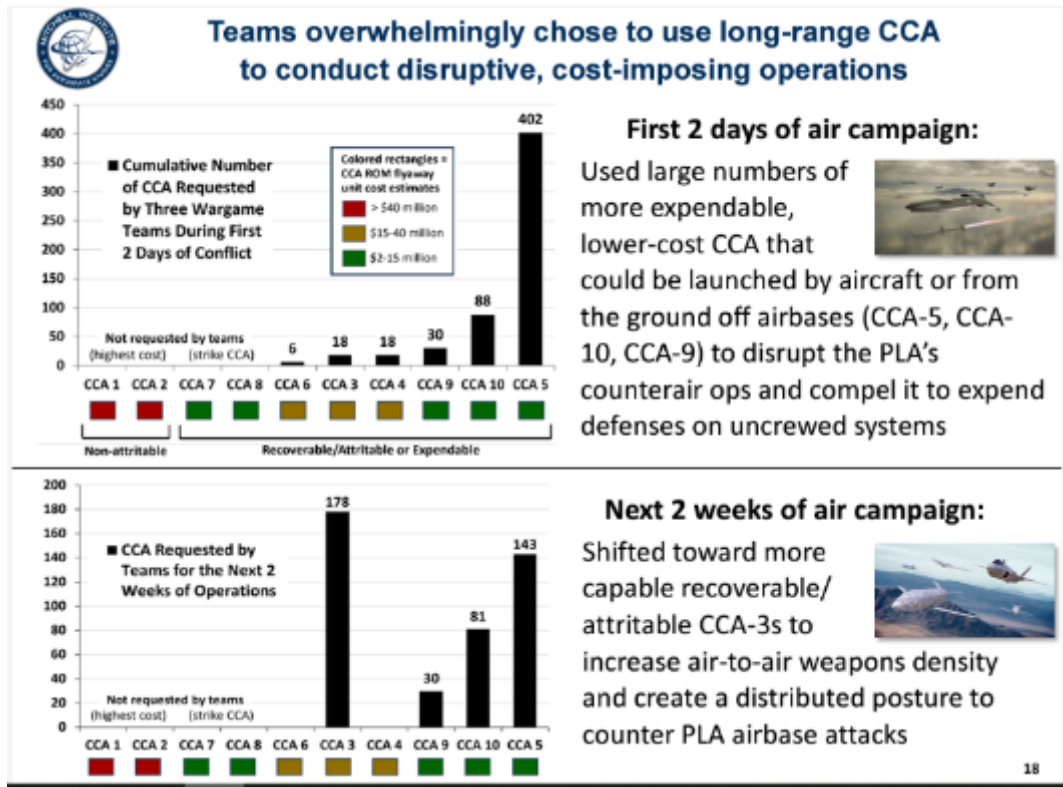
Non-attributable Greater \$40 million	CCA-1: Counterair <ul style="list-style-type: none"> Survivability: VLO (Supersonic capable) Range: 2,000 nm Sensors: AESA, IRST Weapons: 2 x SiAW, 4 x AMRAAM Takeoff: Runway independent Landing: 5,000 ft 	CCA-2: Counterair <ul style="list-style-type: none"> Survivability: VLO (Supersonic capable) Range: 3,000 nm Sensors: AESA, IRST Weapons: 2 x SiAW; 2 x JATM Takeoff: Runway independent Landing: 5,000 ft 	<ul style="list-style-type: none"> Notional CCA missions, capabilities, and categorization provided by warfighters and technological and defense industry experts during Mitchell Institute's 2022 wargame 2023 wargame players chose from these notional CCA designs
	CCA-3: Counterair <ul style="list-style-type: none"> Survivability: VLO Range: 3,000 nm Sensors: AESA, IRST Weapons: 6 x AMRAAM Takeoff and landing: 5,000 ft 	CCA-4: Counterair / SEAD <ul style="list-style-type: none"> Survivability: VLO Range: 3,000 nm Sensors: SAR, ATR Weapons: 6 x SiAW Takeoff and landing: 5,000 ft 	
Recoverable/Attributable \$15-40 million	CCA-9: ISR, Communications <ul style="list-style-type: none"> Survivability: LO Range: 1,000 nm Sensor: SAR Weapons: None Takeoff & landing: Road, runway 	CCA-10: Electronic Attack <ul style="list-style-type: none"> Survivability: VLO Range: 3,000 nm Sensor: EW pod Weapons: None Takeoff and landing: 5,000 ft 	LO/VLO = Low/very low observable SiAW = Stand-in Attack Weapon JATM = Joint Advanced Tactical Missile LRASM = Long Range Anti-Ship Missile ATR = Automatic target recognition
	CCA-5: Counterair <ul style="list-style-type: none"> Survivability: LO Range: Greater than 650 nm Sensors: Low-cost passive Weapons: 2 air-to-air weapons Air-launched, ground by rocket 	CCA-7: Strike/ISR (loitering) <ul style="list-style-type: none"> Range: 1,000 nm rocket launched Sensor: Low-cost EO/IR Each CCA-7 deploys 20 small loitering PGMs with warheads 	
Expendable \$2-15 million estimated flyaway unit cost			

Source : Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, *The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare*, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, p. 22

En 2023, trois équipes ont travaillé chacune sur une mission particulière de *counterair* : SEAD contre les navires de la Marine chinoise, chasse offensive contre les chasseurs et *counterair* offensif/défensif contre les moyens longue portée chinois en protection des AWACS et ravitailleurs américains. Elles ont chacune conçu leur mix d'appareils habités (F-22/F-35) et de CCA à partir des dix concepts et ont joué la confrontation sur deux échelles de temps de la campagne aérienne : la phase initiale des deux premiers jours et une phase de deux semaines d'opérations.

En résumé, comme le montre le graphique ci-dessous, les joueurs ont principalement utilisé :

- ⇒ Pour la phase initiale, un grand nombre de CCA-5, donc des drones consommables porteurs de deux missiles air-air et de CCA-10 de guerre électronique, pour créer la confusion dans le dispositif chinois, ainsi que quelques dizaines de CCA récupérables ;
- ⇒ Pour la phase de deux semaines, non seulement ces drones consommables mais surtout un grand nombre de CCA-3 récupérables furtifs de combat aérien pour accroître la densité du dispositif de couverture américain ;
- ⇒ À noter qu'aucune des trois équipes n'a jugé opportun d'utiliser les deux types d'UCAV supersoniques non perdables.



Source : Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, *The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare*, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, pp. 36-37

Nous exposerons de façon plus détaillée leurs approches dans la troisième partie à titre d'illustration des emplois envisageables des RC dans les missions de *counterair*.

2. Tour d'horizon des autres programmes de systèmes de drone aérien de combat collaboratif

Comme il fallait s'y attendre, les expérimentations américaines dans le domaine des RC influencent profondément celles des armées alliées proches. En cause, le cadre d'un partenariat CCA initié par Washington, dont les caractéristiques ont été présentées dans la partie précédente. Cette influence s'explique aisément :

- ⇒ Par l'antériorité des travaux lancés par la DARPA et les *Services* (USAF, USN / USMC). Les États-Unis disposent donc d'une bonne décennie d'expérience avec les échecs, les impasses et les progrès afférents aux essais ;
- ⇒ Par les réflexions en matière de concepts et de doctrine d'emploi. Certes, celles-ci sont loin d'être achevées dans les forces armées américaines, mais leur teneur échangée dans les cercles interalliés colore nécessairement les travaux entrepris par les autres armées beaucoup moins avancées dans ce domaine ;
- ⇒ Enfin, et c'est le point principal, les constructeurs de CCA sont américains ou sous contrôle américain, donc constituent une partie essentielle de la BITD en charge de

la production des CCA – qu'il s'agisse de Boeing Australia, de BAE Systems ou de Northrop Grumman UK par exemple...

Concernant les pays autres que les alliés occidentaux des États-Unis, il est incontestable que le modèle américain des opérations réseau-centrées est dupliqué chez les Chinois, avec moins de bonheur par les Russes et bien ancré dans des pays émergents comme la Turquie. La construction des avions de cinquième génération s'accompagne donc des mêmes sous-ensembles CCA et présente beaucoup de similitudes avec le cas américain. Notons toutefois la très délicate évaluation des capacités réelles des engins, tant désinformation et propagande sont monnaie courante.

Cette partie va donc offrir au lecteur un tour d'horizon du stade de développement des CCA dans les forces aériennes les plus avancées.

2.1. Les proches alliés : la participation directe du « club anglo-saxon » au développement du CCA américain

Le premier cercle des alliés des Américains concernés par les programmes *Loyal Wingman* ont pour point commun de partager les problèmes géostratégiques de la zone indopacifique et sont confrontés aux enjeux de défense posés par la Chine. Il s'agit de l'Australie et du Royaume-Uni, par ailleurs membres de l'accord militaire AUKUS, et du Japon. La Corée du Sud est aussi concernée, mais aucun plan de coopération n'est actuellement connu.

2.1.1. Australie : le programme Ghost Bat de Boeing Australia comme pilier d'expérimentation commun avec les États-Unis

Le programme australien de CCA est directement issu du projet *Airpower Teaming System* (ATS) de Boeing. La société mère en a délégué la conception et la fabrication à Boeing Australia, qui, en accord avec le ministère de la Défense et la *Royal Australian Air Force* (RAAF), coproduit le programme MQ-28A *Ghost-Bat*²⁷. La machine est un drone de combat multi-missions *a priori* non consommable et opérant en mode télésurveillé ou autopiloté en zone d'exposition au danger. BAE Systems Australia prend en compte l'électronique de bord et les logiciels d'intelligence artificielle pour la navigation et la gestion des informations. Propulsé par un turboréacteur pour une masse au décollage de trois tonnes, il est réputé porter une charge militaire de 500 kg (nez modulaire pour mission *air combat*, AESA radar/EW ou emport de deux *Small Diameter Bombs* en soute interne) pour une autonomie de 3 700 km. Son vol est subsonique et sa signature radar abaissée sans être furtive à proprement parler²⁸. Dix exemplaires de série ont été commandés par le gouvernement australien pour une mise en service fin 2025. La machine accompagnera les F-35A, FA-18/EF et E-7A de la RAAF. Le programme MQ-28A est



²⁷ Voir la présentation du [programme](#) sur le site de la société Boeing.

²⁸ Khaleb Chapman, « [What we know so far about Australia's Loyal Wingman, the MQ-28A Ghost Bat?](#) », *Key Aero*, 22 juillet 2022.

l'un des trois piliers d'expérimentation *Loyal Wingman* américain avec le *Kratos XQ-58A Valkyrie* et l'*Avenger* de General Atomics.

2.1.2. *Le Japon : encore en définition du binôme avion d'armes de sixième génération et de son drone ailier*



La recherche d'un partenariat américano-japonais a été posée en octobre 2023 après une première invitation en décembre 2020²⁹. Toutefois, Tokyo est actuellement engagé sur l'exploration de plusieurs possibilités de programmes d'avion de sixième génération : c'est avec les Britanniques et les Italiens que le Japon coopère sur le *Global Combat Air Programme (GCAP) Tempest* ; en complément de son propre

avion d'arme, le F-X ou F-3 de Mitsubishi Heavy Industries pour remplacer au milieu de la décennie 2030 les actuels F-2³⁰. Dans cet environnement, le sous-programme pouvant constituer l'équivalent d'un drone ailier concernerait la société Subaru Corporation (anciennement Fuji Heavy Industries), dont le drone TACOM présenté ci-contre sert de démonstrateur technologique à un consortium regroupant MHI pour les liaisons de données et les protocoles MUM-T, la Ministry of Defense's Acquisition, Technology and Logistics Agency pour les logiciels d'IA embarqués. Trois phases sont planifiées jusqu'en 2025 pour l'expérimentation finale d'un avion d'arme pouvant contrôler deux ou trois machines, avant leur intégration en escadrille. Ce sont les résultats de la phase III qui serviront ensuite de socle technologique au développement d'une gamme de drones plus diversifiée ou d'un avion d'arme totalement robotisé dont le projet avait été écarté il y a plusieurs années. La machine en développement serait un drone chargé de renseignement et de *counterair*³¹.

2.1.3. *Corée du Sud : développement envisagé d'un équivalent Ghost Bat*

Le modèle *Ghost Bat* a, semble-t-il, inspiré le ministère de la Défense coréen (*Agency for Defense Development – ADD*) pour son propre programme CCA confié en 2022 à Korean Air et au Korea Institute for Defense Technology Planning and Advancement (KRIT) dans l'étude et la mise au point d'un UCAV aérolargué à signature radar réduite capable d'accompagner les futures versions avancées du KF-21 *Boramea*³². La vue d'artiste ci-dessus ne doit cependant pas faire illusion. Pour l'heure, il s'agit de tester la faisabilité des briques de base du CCA (technologies de la furtivité du drone, liaisons de données avec l'avion d'arme, algorithmes d'IA embarqués, interfaces et protocoles MUM-T...). La Corée du Sud n'étant encore dans aucun programme de coopération internationale connu, il faudra encore au



²⁹ Micheal Marrow, « [Is a US-Aussie-Japanese loyal wingman drone in the cards?](#) », *Breaking Defense Indo-Pacific*, 27 octobre 2023.

³⁰ Kris Osborne, « [Japan's 6th-Gen Mitsubishi F-X Prototype to Emerge in 2024](#) », *Warrior Maven Center for Military Modernization*, 12 août 2023.

³¹ Albert L, « [Japan Commences Development Program For Fighter Loyal Wingmen](#) », *Over Defence*, 6 janvier 2021.

³² Greg Waldron, « [Korean Air to help develop stealthy loyal wingman UAVs](#) », *Flight Global*, 16 août 2022.

moins une décennie avant que cela n'aboutisse à des déploiements en escadrilles – si toutefois, ce concept est finalement retenu.

2.1.4. Europe : interrogations britanniques sur les configurations possibles des drones ailiers

Le Royaume-Uni a reconnu il y a plusieurs années l'utilité de la robotisation pour tenter de remassifier ses forces armées en voie de rétraction tendancielle. Dans le domaine de la puissance aérienne, le chef d'état-major de la *Royal Air Force* esquissait en 2019 sa vision d'un escadron d'attaque type début 2030, composé de deux avions d'arme (*Typhoon*, puis ultérieurement F-35 et *Tempest*) engageant une dizaine de *Loyal Wingmen Mosquito* et d'une centaine de drones *Alvino* agissant en essaim³³, l'ensemble étant renseigné par des drones HALE *Protector RG MK-1* (version britannique du futur MQ-9B *SkyGuardian* de General Atomics).

Les expérimentations des véhicules aériens sans pilote sont menées par le Defence Science and Technology Laboratory (Dstl) et le RAF Rapid Capabilities Office (RCO), avec comme unité de tests, le *Squadron 216* dans le cadre d'un programme général lancé en 2015 ; le *Lightweight Affordable Novel Combat Aircraft (LANCA)*, lui-même composant un sous-ensemble du *Global Combat Air Program (GCAP) Tempest* (avion d'arme de sixième génération)³⁴.



Les recherches sur un démonstrateur technologique *Loyal Wingman* ont débuté en 2019 avec le projet *Mosquito* ; unUCAV confié à un consortium mené par Spirit AeroSystems Belfast et Northrop Grumman UK. La vue d'artiste ci-contre rend compte d'un engin comparable au XQ-58, dans son *design*. Toutefois, en juin 2022, le contrat fut annulé par le ministère de la Défense, ne donnant lieu à la présentation d'aucun

modèle ou maquette³⁵. Il semblerait que d'autres solutions technologiques plus avancées en matière de réalisation aient été proposées par BAE Systems.

En effet, le constructeur a présenté deux prototypes de drones ailiers en 2022³⁶. L'engin baptisé *Concept 1* (photo de gauche) s'apparente à un drone d'attaque récupérable sous parachute avec charge utile de 40 kg (ISR, GE, ou tête explosive).



La vitesse annoncée est de Mach 0,50 avec une autonomie de quatre heures à 30 000 pieds (9 000 m), tandis que le *Concept 2* (photo de droite) est un drone plus imposant et sophistiqué, perdable mais récupérable pour plusieurs centaines de

³³ Harry Lei, « [Future Raf will mix crewed fighters, UAVs and swarming drones: CDS](#) », *Air Force Technology*, 31 mars 2021.

³⁴ Harry Lye, « [Dstl developing unmanned aircraft for the RAF](#) », *Air Force Technology*, 22 juillet 2019.

³⁵ S. a., « [UK walks away from Project Mosquito loyal wingman drone development](#) », *Defense Brief*, 24 juin 2022.

³⁶ Craig Hoyle, « [BAE Systems unveils new unmanned concepts at RIAT](#) », *Flight Global*, 16 juillet 2022.

mission, emportant des charges militaires internes de 500 kg (deux *METEOR* air-air, quatre *SPEAR-3* air-surface, attaque électronique). L'engin de 3,5 t en ordre de combat peut atteindre Mach 0,75 pour une autonomie de cinq heures à 40 000 pieds (12 000 m). Un appel d'offres a été ouvert par le ministère de la Défense en 2022 pour poursuivre ces expérimentations³⁷.

Ces machines sont appelées à travailler en groupes de drones au fur et à mesure de l'arrivée à maturation des algorithmes d'IA testés dans le cadre du programme ALVINA, d'expérimentation des vols en essais. Ces essais, comparables à ceux entrepris il y a dix ans par les États-Unis (programmes *Gremlins* et CODE de la DARPA, *Perdix*, LOCUST de la Navy...), ont pour but de maîtriser des groupes de vingt mini-drones emportant sept types différents de charges avec amélioration progressive des algorithmes de navigation et d'auto-positionnement des agents dans l'essai.

Si l'orientation de la robotique aérienne n'est pas remise en cause, le Royaume-Uni se concentre sur des briques technologiques plus simples et plus rapides à mettre en œuvre par comparaison avec les programmes américains. Les experts constatent deux choses :

- ⇒ La nécessité de décorréliser les recherches sur le CCA britannique du programme père GCAP, dont l'architecture multinationale avec l'Italie, le Japon et la Suède est lourde à mettre en place³⁸ ;
- ⇒ L'amélioration des réflexions conceptuelles sur le rôle respectif des *Remote Carriers* capables d'opérer avec des capteurs et des systèmes d'armes embarqués dans des zones à forte dangerosité, donc impliquant une certaine furtivité coûteuse et les machines plus proches des munitions maraudeuses consommables, mais disposant d'un rayon d'action restreint ou d'une autonomie trop limitée pour engager des cibles protégées sans exposer une plate-forme habitée.

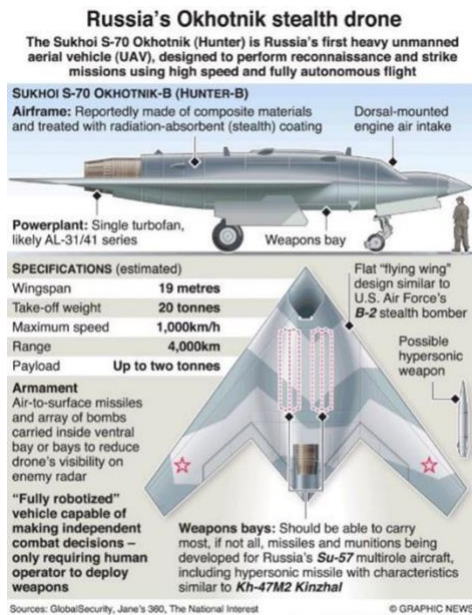
2.2. Russie et Chine, des situations contrastées

Les évolutions de la puissance aérospatiale impliquant les sous-systèmes non habités n'échappent pas aux autres forces aériennes non occidentales qui développent leur avion d'arme de cinquième génération. Russie et Chine s'emploient à robotiser leur aviation, mais avec des résultats que personne n'est en mesure de réellement évaluer.

³⁷ Tony Osborne, « [Memo: Mosquito's End Opens New Chapter for UK Loyal Wingman Plans](#) », *Aviation Week*, 17 juillet 2022.

³⁸ Trevor Taylor, *Gambling Responsibly and the UK Tempest Programme Experiences, Risks and Opportunities?*, Occasional Paper, RUSI, novembre 2020, 36 p.

2.2.1. Russie : les démonstrateurs de drones ailiers sont ralentis par les nécessités de la guerre en Ukraine et le tarissement des sources d'approvisionnement des composants



Concernant plus particulièrement les systèmes de type *Loyal Wingman*, deux projets ont été rendus publics : le *Sukhoi S-70 Okhotnik* en versions A et B et le *Grom* de Kronstadt Group. Ce dernier n'étant encore qu'une proposition soumise au ministère russe de la Défense.

Le *Soukhoï S-70 Okhotnik* (infographie ci-contre³⁹), dont l'étude a commencé en 2011, est présenté par les deux constructeurs Sukhoi et Mig comme un drone d'accompagnement des avions d'arme multi-rôles SU-57 et futurs SU-75, porteurs de munitions air-sol pour neutraliser les IADS adverses et éliminer des cibles à haute valeur. De rares essais en vol ont pu être observés en 2019 et 2023.

La machine est réputée disposer d'une IA embarquée pour la gestion des tâches de navigation autonome et de mise en œuvre des charges militaires. Pour le moment, il semblerait que l'expérimentation en cours fasse intervenir un SU-57 biplace dans lequel l'opérateur arrière télésurveille la machine. Les premiers exemplaires sont supposés entrer en service fin 2025.

La seconde offre provient de Kronstadt Group, avec le *Grom*, dont une maquette statique a été présentée fin 2021⁴⁰. Selon le constructeur, il s'agit d'un drone d'attaque autonome spécialisé dans la



Kronstadt Grom UAV Specifications	
Dimensions [m (ft.)]	
Length	13.8 (45.3)
Wingspan	10 (33)
Height	3.8 (12.5)
Weights [kg (lb.)]	
Max. takeoff	7,000 (15,400)
Max. payload	2,000 (4,400)
Performance	
Max. speed	1,000 kph (620 mph)
Cruising speed	800 kph (500 mph)
Ceiling	12,000 m (40,000 ft.)
Operational radius	700 km (380 nm)

Source : Piotr Butowski, « Russia Reveals Loyal Wingman Concept », *Aviation Week*, 4 septembre 2020

neutralisation des IADS en ouverture de couloir aérien en avant d'une formation d'attaque habitée. Il est présenté comme un porte-charges (transmissions, guerre électronique) et un porte-munitions de précision mis en œuvre en essaim, avec une signature radar réduite. Pour l'heure, la machine présentée sur fonds propres du constructeur n'a pas encore fait l'objet de commande d'étude ou de production⁴¹.

³⁹ Source : <https://www.pinterest.fr/pin/740068151280402028/>

⁴⁰ Igor Rozin, « [Grom, ce drone russe high-tech qui joue les bombardiers](#) », *Russia Beyond* (version française), 27 septembre 2021.

⁴¹ Mark Episkopos, « [The Grom Drone: Russia's Combat Swarm UAV Platform](#) », *The National Interest*, 24 janvier 2022.

Il n'est guère facile d'évaluer la réalité des avancées technologiques de ces fabrications. Dans une étude récente concernant les « dronistes » de la BITD, plusieurs facteurs semblent considérablement ralentir Moscou sur la voie des drones alliés⁴² : d'abord, la guerre en Ukraine a concentré les productions sur des modèles déjà existants, tel l'*Orion* pour Kronstadt Group ; les pénuries de composants électroniques en provenance des pays occidentaux, du Japon et d'Israël ralentissent la production de guerre des drones et des munitions maraudeuses russes et rendent très difficiles l'étude et la mise au point de nouveaux modèles ; enfin, le système économique russe très centralisé et bureaucraté ne permet pas une grande adaptabilité de la BITD russe. Tout dépendra donc des priorités réelles accordées à la fin des engagements à la modernisation des armées russes. Toutefois, le 21 juin 2023, la Russie a rendu officiel un document « stratégique » visant le développement de la BITD, des infrastructures et de la formation des personnels pour l'aviation sans pilote⁴³. Il s'agit de créer un « biotope » à dix ans, favorable à l'augmentation de la demande et à la diversification des productions nationales civiles et militaires. La stratégie est complétée par un « projet national » gouvernemental chargé de la réalisation des différents objectifs par chacun des ministères et agences d'État concernés. Il y a donc une priorité affichée, mais qui ne pourra fournir ses premiers résultats que dans plusieurs années.

2.2.2. Chine : les RC assurent un rôle clé dans l'alimentation des architectures ISR et de ciblage de longue distance contre les forces américaines

Du côté chinois, rappelons que le pays est le premier constructeur mondial de drones civils et militaires et dispose d'une BITD estimée à 70 000 entreprises travaillant pour 22 groupes de taille internationale, dont DJI sur les différents segments de produits et de composants entrant dans la fabrication des machines, dans les logiciels, les batteries, etc.⁴⁴ Les forces armées chinoises considèrent donc la robotique comme un appoint de puissance indispensable pour contrer le modèle des opérations réseau-centrées interarmées américaines qu'elles tentent de reproduire⁴⁵. La masse robotisée doit être en mesure d'assurer une allonge transocéanique aux architectures ISR et de ciblage pour contrer les forces expéditionnaires américaines au plus loin des côtes chinoises. À cet égard, les drones présentés officiellement semblent être l'exacte réplique de leurs *alter ego* d'outre-Pacifique.



Le FH-97 de Feihong est un UCAV en développement d'accompagnement de l'avion d'arme multirôles J-20 *Mighty Dragon*, dont les capacités d'emport en armements sont jugées trop limitées par la PLAAF. La maquette présentée en 2022 montre une machine comparable dans son *design* au MQ-58A. Elle est présentée comme pouvant embarquer jusqu'à huit missiles air-air en mission « *Sweep* » ou des munitions maraudeuses FH-101. Des modules de GE et de gestion

⁴² Pavel Luzin, [Russian military drones. Past, present and future of the UAV industry](#), Foreign Policy Research Institute, Eurasia Program, novembre 2023, 31 p.

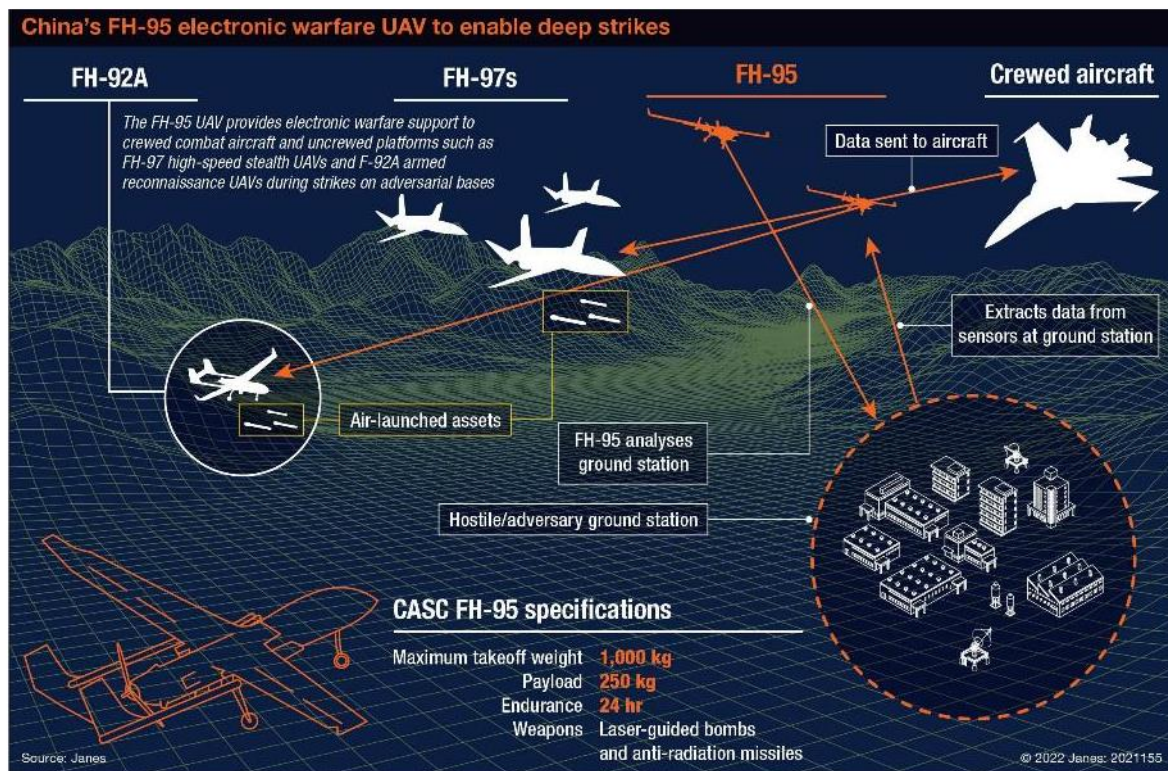
⁴³ Government of Russia, « [Government approved the Strategy for development of unmanned aviation until 2030](#) », 28 juin 2023.

⁴⁴ Chang Che, « [All the drone companies in China – a guide to the 22 top players in the Chinese UAV industry](#) », *The China Project*, Taiwan, 18 juin 2021.

⁴⁵ Loro Horta, [China's Drone Mania](#), Strategic Brief 38, IRSEM, 3 mai 2022.

de communication longue distance seraient disponibles. Le FH-97A est réputé pouvoir coordonner l'action de plusieurs drones sous télésurveillance d'un J-20 biplace (coordination de la GE FH-95 et FH-92A)⁴⁶. Il peut être lancé à terre ou sur plateforme navale.

Le domaine de la guerre électronique est privilégié. Les drones sont réputés travailler en groupes synchronisés. Feihong produit en parallèle le FH-95, pour les missions de collecte SIGINT, RADINT et de brouillage. Il s'agit d'un drone de classe III (1 t au décollage) avec charge embarquée de 250 kg et autonomie annoncée de 24 heures à 13 000 m. Le FH-95 recueille les données après activation des systèmes adverses par FH-97 avec communication aux avions d'armes et UCAV. Il peut être utilisé en brouillage zonal en préliminaire d'une attaque de cibles durcies comme l'illustre le schéma ci-dessous.



Source : Akhil Kadidal, Akshara Parakala, « [China's electronic warfare UAV completes performance test](#) », *Jane's*, 2 août 2022

2.3. Les nouveaux membres du club : l'Inde et la Turquie

2.3.1. L'Inde et l'effet de rattrapage contre les systèmes chinois et pakistanais

La position géostratégique de l'Inde est contrainte à la fois par le Pakistan et par la Chine, dont les déploiements aéromaritimes en océan Indien sont perçus comme menaçants. La puissance aérienne indienne doit donc faire face à la question des IADS renforcés de la région pour assurer les missions de pénétration conventionnelle et nucléaire, tout en contrôlant ses voies de communication maritime avec son aéronavale. Le gouvernement et ses états-majors

⁴⁶ Liu Xuanzun, Cao Siqi, Fan Wei, « [Exclusive: China's new loyal wingman drone to greatly change air combat: designer](#) », *Global Times*, 7 novembre 2002.

investissent donc sur les briques technologiques observées chez les Américains et leurs proches voisins (drones, munitions maraudeuses, IA pour les formations en essaim et *High Altitude Pseudo-Satellites* (HAPS) pour les couvertures ISR régionales). Une famille complète de systèmes de systèmes est en cours de développement pour accompagner la future force de frappe à longue distance procurée par les *Rafale* et les *Tejas MK1*⁴⁷, regroupée sous le vocable *Combat Air Teaming System* (CATS). C'est un consortium rassemblant Hindustan Aeronautics Limited (HAL), National Aerospace Laboratories (NAL), Defence Research and Development Organisation (DRDO) et Newspace Research & Technologies qui assure la progression des expérimentations et des mises en production.

La partie drone ailier repose sur l'UCAV CATS *Warrior*, lancé en 2018 pour l'accompagnement de l'avion d'arme *Tejas*. Les prototypes doivent être prêts en 2024-2025. La machine est un bi-turbopropulseur à signature radar réduite, conçue pour mener des missions de reconnaissance, de guerre électronique et de combat air-air et air-sol en autonome. Il



emporte 250 kg de charge utile pour un poids total de 1,5 t. Il dispose d'une vitesse maximum de Mach 0,7 sur une distance de 800 km ou d'une autonomie de 80 minutes. *Warrior* doit servir de *Remote Carrier*. À ce titre, il peut être lancé par un avion-cargo ou un bombardier, puis être pris en télésurveillance par un contrôleur avancé sur *Tejas*. Il contient 24 munitions maraudeuses ALFA-S (ci-contre). Les ALFA-S disposent d'un algorithme de reconnaissance de forme pour le ciblage et peuvent survoler une zone sur une distance de 100 km pour



rechercher leurs cibles. D'autres munitions comme des bombes anti-pistes sont testées⁴⁸. Les *Warrior* seront lancés dans des groupes contenant aussi des missiles de croisière ; les *CATS Hunter*, équipés avec un système de guidage TERCOM et GPS, sont dotés d'une charge militaire de 250 kg sur une distance franchissable de 300 km⁴⁹.

Les débats internes à l'« *establishment* » indien relatifs à l'évolution de la puissance aérienne (Center for Air Power Studies – CAPS) sont instructifs eu égard à l'impératif d'intégrer les nouvelles capacités robotiques, dont les tests sur les essais de machines non habitées⁵⁰. En dépit des doutes émis par l'Air Chief Marshal Vivek R. Chaudari, actuel chef d'état-major de l'armée de l'Air, sur la pertinence d'utiliser des drones, y compris en version ailier, dans les zones exposées à des IADS durcis en raison de leur grande vulnérabilité⁵¹, le choix a été fait malgré tout d'en privilégier le développement et la mise en service rapide afin de compenser les réductions budgétaires limitant de 50 % les avions d'attaque de prochaine génération

⁴⁷ Pradip R. Sagar, « [IAF | A force to rule the skies](#) », *India Today*, 3 novembre 2023.

⁴⁸ Air Marshal Anil Chopra, « [Unmanned Wingman Plan India](#) », *Indian Defence Review*, Vol. 37/2, avril-juin 2022.

⁴⁹ Ronak Kunde, « [CATS Hunter, India's low-observable ALCM getting further refined](#) », *Indian Defence Research Wing*, 31 mai 2023.

⁵⁰ Air Marshal Anil Chopra, « [Drone swarms are both asset and threat. Is India ready?](#) », *First Post*, 18 août 2023.

⁵¹ Ronak Kunde, « [Indian Air Force Sets Sights on Stealthy UCAVs and Loyal Wingman in Large Numbers](#) », *Indian Defence Research Wing*, 5 septembre 2023.

achetés à l'étranger⁵². L'*Indian Air Force* semble donc considérer que l'ajout de ces capacités constitue, à tout le moins, une strate supplémentaire à sa posture dissuasive par l'augmentation d'une masse additionnelle à ses escadrilles habitées.

2.3.2. Turquie : affirmation d'une montée en compétences par le développement d'un programme de drone ailier



Avec le succès à la vente de ses TB2 après des démonstrations d'efficacité opérationnelle en Syrie, Libye et Azerbaïdjan, Ankara se présente comme un des acteurs les plus crédibles dans la conception et la mise en œuvre des drones aériens. C'est donc tout naturellement que la BITD turque continue sa montée en gamme avec le programme du *Kizilelma* du constructeur Baykar. La machine est présentée comme un prototype d'UCAV supersonique, à terme, capable d'être progressivement configuré en *Loyal Wingman* au fur et à mesure des progrès des logiciels d'IA embarqués et des liaisons et protocoles MUM-T. Les spécifications techniques rendues publiques annoncent un engin de 6 t au décollage pouvant emporter 1,5 t de charge militaire. Il est réputé disposer d'une autonomie de cinq heures sur une distance franchissable de la classe 1 000 km à un plafond de 11 000 m. Sa vitesse actuelle est de Mach 0.6 mais devrait augmenter avec l'arrivée à maturité d'un nouveau propulseur. Il accompagnera les F-16C/D en service⁵³ et le futur avion de cinquième génération (*Milli Muharip Uçak – MMU*)⁵⁴, pour lequel la Turquie cherche des partenaires dans le cadre du programme FT-X *Kaan* : Ukraine pour les moteurs, Pakistan pour le *design* et l'architecture de systèmes intérieurs, l'Azerbaïdjan pour les financements. Une version navalisée TB3 est en cours de développement pour intégration dans les flottilles aéronavales des drones conçues pour les deux porte-aéronefs de classe *Anadolu*. Les premiers exemplaires sont prévus pour mise en service en 2024.

Il est à noter que Turkish Aerospace Industries (TAI), en charge du MMU, travaille également sur un démonstrateur technologique, le *Anka-3 MIOUS*, un modèle non habité en configuration aile volante pour le test des algorithmes de navigation et des liaisons avec l'avion d'arme. Il ne semble pas, pour l'heure, qu'il s'agisse d'un prototype *Loyal Wingman* à part entière. L'avenir le confirmera⁵⁵.



Cela étant, TAI développe en parallèle son concept de MUM-T, l'*Otonom Kol Uçucusu* (OKU, c'est à dire *Autonomous Wingman Concept*) centré sur le FT-X *Kaan* et en mesure d'agréger à terme cet *Anka-3* ainsi que la famille de drones *Super Simsek*⁵⁶, dérivés d'un avion-cible (un

⁵² S. a., « [L'Inde veut réduire de moitié ses acquisitions de nouveaux avions de chasse d'origine étrangère](#) », *Le Journal de l'aviation*, 3 juin 2022.

⁵³ S.a., « [Turkish 'Loyal Wingman' Emerges For Taxi Tests](#) », *Defense Bridge*, 22 novembre 2022.

⁵⁴ John Lake, « [Turkey Unveils Stealth Fighter and Combat UAV](#) », *Aviation International News*, mars 2023.

⁵⁵ Taifun Ozberk, « [Turkish firm unveils Anka-3 combat drone ahead of maiden flight](#) », *Defense News*, 23 mars 2023.

⁵⁶ « [TUSAS Prepares Turkish Loyal Wingman: OKU](#) », *TurDef*, 7 août 2023.

peu comme les productions Kratos) pour les multiples missions classiquement considérées : air-air, SEAD, frappe air-sol, guerre électronique, etc.⁵⁷

Pour la *Turkish Air Force*, l'arrivée des RC est conçue comme un moyen alternatif d'augmenter les capacités de feu et de manœuvre de ses F-16, lesquels constitueront le cœur de la flotte d'attaque en attendant l'entrée en service du MMU ou de ce qui en tiendra lieu⁵⁸. Pour rappel, en l'état actuel des développements technologiques de la BITD turque, dont les sanctions américaines ont sensiblement réduit les possibilités de coopération avec les Occidentaux, donc la maîtrise des blocs technologiques de système de systèmes, ce sont les F-16 qui sont chargés d'assurer la sécurité des vols des drones de reconnaissance d'Ankara en zone exposée : un comble !⁵⁹

Ce tour d'horizon rapide des programmes des forces aériennes les plus avancées confirme que l'évolution « robotique » est une tendance largement partagée avec un cadre de réflexion en cours sur le rôle des drones ailiers dans des *task forces* aériennes composites incluant des avions d'arme, des drones, des missiles de croisière et des munitions maraudeuses. Où en est-on en France ?

⁵⁷ « [Yüksek hızlı hedef uçak Şimşek'in yeni versiyonu 'Süper Şimşek' geliyor](#) », *Defense Here*, 26 avril 2023.

⁵⁸ Arda Mevlutoglu, « [Turkey's Kizilelma Armed Drone and Beyond](#) », *Politics Today*, 17 mai 2022.

⁵⁹ S.a., « [Role Reversal For F-16 Fighter Jets As Turkey Mulls Using Frontline Attack Warplanes As 'Bodyguards'](#) », *The Eurasian Times*, 7 septembre 2021.

Analyse du cas français

Avec le programme SCAF, la France et ses partenaires sont également engagés dans le développement d'une puissance aérienne de combat fondée sur un système de systèmes à base de MUM-T, avec drones aériens de combat collaboratif. Pour autant, il convient d'apprécier plus finement la plus-value opérationnelle que ces derniers systèmes peuvent apporter. Pour ce faire, il convient de caractériser le problème stratégique et opérationnel auquel devrait répondre, ou contribuer à répondre, la mise en œuvre de ces RC. Nous adopterons tout d'abord un raisonnement par l'absurde, consistant à cerner empiriquement quels sont les contours que pourrait avoir une puissance aérienne si la Loi de programmation militaire (LPM) était appliquée jusqu'au bout et si les cibles avancées pour la décennie 2030 étaient respectées, sans la présence de ces drones aériens de combat collaboratif. Nous aborderons ensuite les apports de ces RC, puis explorerons quelques exemples de concepts de RC et d'emploi de ces systèmes dans les différentes missions de notre puissance aérienne future.

1. Analyse du problème pour une puissance aérienne future sans *remote carriers*

1.1. Rappel sur les cadres d'engagement plausibles de la puissance aérienne future

Pour tenter de réfléchir à l'apport de ces machines, il convient de garder à l'esprit un ensemble de paramètres. En premier lieu, ce sont les missions génériques que doivent assurer les forces aériennes. Le premier axe est celui des six fonctions stratégiques de la défense du pays auxquelles la puissance aérienne française doit globalement contribuer : connaissance / anticipation avec ses capacités de renseignement, dissuasion avec les forces aériennes stratégiques, prévention avec ses capacités déployées dans les dispositifs de présence et de souveraineté, protection avec la posture permanente de sûreté-air (PPS-A), secondairement influence avec ses déploiements, enfin intervention. Le second axe réside dans les missions

tactiques que doivent réaliser ses capacités de C2, d'ISR, d'engagement/combat, de mobilité et de soutien. On reprendra ici la typologie des doctrines américaine⁶⁰ et otanienne⁶¹ :

- ⇒ *Defensive Counterair (DCA)* : neutralisation de la puissance aérienne offensive adverse par la chasse et la défense antiaérienne et antimissile active et passive ;
- ⇒ *Offensive Counterair (OCA)* : *attack operations* (visant les éléments de la puissance aérienne adverse basés au sol, tels que aérodromes, centres C2, etc.), de neutralisation des défenses antiaériennes adverses (SEAD) et de chasse offensive (*fighter sweep/escort*) ;
- ⇒ *Air Power Contribution to Counterland Operations (APCLO)* ou *countersurface* : interdiction et appui aérien rapproché ;
- ⇒ *Air Power Contribution to Counter maritime Operations (APCMO)* : lutte antinavire et anti-sous-marine.

Rappelons également que les effets à réaliser peuvent être d'ordre cinétique et non cinétique (dans le milieu cyber, dans le champ électromagnétique et dans le champ de l'influence). La diversité des modes opératoires en intervention est aussi un paramètre du problème. Ils peuvent revêtir la forme de raids ou de dispositifs tactiques semi-permanents, en particulier pour la couverture aérienne en DCA et le ciblage d'opportunité.

Une seconde catégorie de paramètres à prendre en compte recouvre bien évidemment :

- ⇒ La menace : le niveau de performance des capacités de défense aérienne et antimissile adverses ; leur éventuelle intégration au sein d'un système intégré de défense antiaérienne ; l'ampleur des opérations d'OCL voire d'OCS à réaliser en appui des composantes terrestre et maritime ;
- ⇒ Les partenaires et alliés : en particulier la présence ou l'absence des forces américaines en interventions et celles des partenaires européens en mesure de recourir à la force ;
- ⇒ Les caractéristiques de l'environnement opérationnel, en particulier les distances à couvrir, les contraintes d'emploi de la force, etc.

1.2. Aux racines de la motivation : un étiolement de l'épaisseur de la puissance aérienne française

Les puissances aériennes européennes font face à des défis de masse (ou d'épaisseur) critiques, à l'instar des forces aériennes turques ou encore indiennes et plus encore de l'*US Air Force* et l'*US Navy*, qui entendent pouvoir se mesurer aux forces chinoises. En dépit des différences d'échelle et de généalogies variées, les problèmes sont relativement les mêmes.

⁶⁰ Air Force Doctrine Publication 3-01, [Counterair Operations](#), 15 juin 2023, pp. 4-7.

⁶¹ NATO Standardization Office (NSO), NATO Standard AJP-3.3, [Allied Joint Doctrine For Air And Space Operations](#), Edition B Version 1, avril 2016, pp. 1-8, 1-11.

1.2.1. *La LPM laisse augurer des améliorations significatives des capacités de la puissance aérienne...*

Dans le cadre de cette LPM et de ce qui est planifié pour le début de la décennie 2030, la puissance aérienne devrait bénéficier de plusieurs améliorations notables. On en retiendra au moins quatre pour notre sujet :

- ⇒ **Performances de la fonction engagement/combat** : accroissement notable de l'efficacité opérationnelle de la fonction engagement/combat compte tenu tout d'abord de la modernisation du *Rafale*. Les standards F4 et surtout F5 devraient apporter de profondes améliorations des équipements de mission (radar RBE, OSF, nacelle *Talios*, etc.), du système de navigation et d'attaque de l'appareil et de sa connectivité avec une nouvelle liaison de données tactique haut débit permettant le combat collaboratif multiplateformes, l'ensemble constituant des éléments clés d'une première itération du *cloud* de combat attendu. Ensuite, arrivera le *Next Generation Fighter* (NGF) qui devrait apporter les ruptures espérées de tout appareil de la cinquième/sixième génération (furtivité, fusion de l'information, etc.). Ce NGF sera indispensable non seulement pour la composante aéroportée de la dissuasion nucléaire, mais aussi pour la puissance aérienne nationale dans le champ de bataille du futur en haute intensité. Se posent cependant de multiples questions : volume d'équipements de mission qui sera financé, priorité accordée à la nouvelle liaison de données, etc. ;
- ⇒ **Capacités ISR** : remplacement des *Gabriel* par les *Archange* dans le domaine ROEM, arrivée de l'*Eurodrone* ou encore les quelques ALSR ;
- ⇒ **Maintien en condition opérationnelle (MCO)** : l'accroissement de 40 % des crédits prévus pour le maintien en condition opérationnelle – par rapport à la LPM 2019-2024 – est de nature à permettre à l'AAE de poursuivre le rétablissement de taux de disponibilité satisfaisant qu'apporte aujourd'hui la verticalisation du MCO et que l'AAE attend aussi de multiples autres mesures (systèmes d'information, impression 3D, évolution de réglementation, etc.)⁶² ;
- ⇒ **Accroissement des stocks de munitions**. Un autre élément est l'effort consenti sur la dotation en bombes et en munitions complexes dont sont équipés ces appareils : missiles air-air, de croisière, etc. Cela étant, ce renforcement du volume programmé par la LPM ira-t-il jusqu'à la capacité à réaliser une opération aérienne de haute intensité ?

1.2.2. *...mais ne remédie pas au déficit de masse de cette composante qui va s'accroître*

Les ailes françaises comptaient plus de 500 avions de combat en 1994 contre 253 en 2021⁶³. À la fin de la décennie, la fonction engagement/combat doit en théorie être de 225 chasseurs, dont 185 pour l'AAE et 40 pour la Marine. La cible d'une flotte fondée sur le « tout-*Rafale* » pour l'AAE a été décalée de 2030 à 2035, mais elle-même pourrait être difficile à tenir compte

⁶² Romain Guillot, « [MCO aéronautique : la verticalisation des contrats commence à tenir ses promesses](#) », *Journal de l'aviation*, 13 janvier 2022.

⁶³ « [6.3 Armée de l'Air et de l'Espace \(chiffres au 1er juillet 2021\)](#) » in MINARM, *Les chiffres clés de la défense, 2021*, décembre 2021, p. 24.

tenu des retards dans les tranches d'acquisition, des compensations de cessions d'appareils aux alliés, etc. Il est donc de plus en plus probable que l'on approchera au mieux, selon nous, des 200 chasseurs dans une douzaine d'années. De plus, si la LPM évoque le renforcement de l'inventaire de munitions, elle ne dit mot du volume des équipements de mission, jugés notoirement insuffisants pour doter l'ensemble de la flotte à de tels niveaux de sollicitation.

La décrue devrait selon toute probabilité être plus importante encore à l'ère du NGF. Le seul développement du démonstrateur d'ici 2025-2026 coûtera 4 Mds€, à comparer avec les 14 Mds€ du développement complet du *Rafale* calculé en 2005 (en comptant l'inflation). Le coût total du programme *Rafale* était estimé à 46,4 Mds€ en 2014 (55 Mds€ en 2023), pour une cible de 286 avions, avec un coût unitaire de production situé entre 69 et 79 M€ selon les versions⁶⁴. Celui du NGF sera certainement bien plus important, même s'il n'atteint pas un montant équivalent aux 300 M\$ du PCA américain. Les évaluations de coût actuelles, donc initiales et sujettes à dérive, de l'ensemble du SCAF iraient selon le Sénat de 50 à 80 Mds€. Dans ce contexte, maintenir une flotte d'avions de combat d'environ 200 appareils après 2040 pourrait se révéler impossible.

Les capteurs ISR aéroportés eux aussi ne seront guère plus nombreux dans douze ans. Certes, les *Archange* devraient remplacer les *Gabriel* mais l'AAE devra se contenter de ses trois ALSR. Le remplacement des *Reaper* par l'*Eurodrone* ne se traduira pas par un renforcement du nombre de systèmes. Il est vrai que les appareils de combat auront des capacités ISR plus importantes, mais il y aura nécessairement compétition avec les priorités des missions d'engagement/combat.

1.2.3. Un étiolement de masse contraignant l'aptitude à tenir les six fonctions stratégiques...

Examinons l'impact de cette masse en étiolement sur les aptitudes de la composante aérienne. Dans la mesure où la LPM ne change pas grand-chose à la structure de force, ces lacunes sont bien connues depuis des années. À l'échelle de l'ensemble des fonctions stratégiques, le déficit de masse de capteurs ISR contraint l'aptitude à assurer concomitamment les fonctions de connaissance / anticipation et d'appui ISR dans une intervention significative. De même, le déficit de masse d'effecteurs accentuera l'inaptitude, déjà présente depuis plus d'une décennie, à armer concomitamment la composante aérienne de la dissuasion, la PPS-A, le maintien des déploiements de présence, l'hypothèse d'engagement majeur (HEM) et parallèlement la génération de force et la préparation opérationnelle. Ce d'autant qu'il ne s'agit pas, bien souvent, d'un jeu à somme nulle permettant des vases communicants entre les moyens alloués à ces différentes fonctions : des contextes stratégiques justifiant une HEM, comme le risque de confrontation avec la Russie au sein de l'OTAN, peuvent nécessiter de renforcer en même temps les niveaux de dissuasion et de PPS-A. Même en présupposant que les taux de disponibilité se maintiendront à des niveaux satisfaisants, par exemple près de 60 %, en réduisant considérablement les activités de préparation opérationnelle, en supposant qu'il n'y ait pas d'autres OPEX à ce moment-là, un contrat opérationnel en HEM de 45 avions paraît irréalisable avec une composante à 200-220 appareils.

⁶⁴ [IV. Engagement et combat](#), Projet de loi de finances pour 2014 : Défense : équipement des forces et excellence technologique des industries de défense, Rapports législatifs, Avis n° 158 (2013-2014), tome VIII, déposé le 21 novembre 2013.

1.2.4. ...contraignant tout autant la capacité à mener une campagne aérienne de haute intensité

Cette insuffisance structurelle d'épaisseur de la composante habitée ne serait pas critique si l'ensemble de nos interventions s'inscrivait dans des coalitions menées et principalement armées par les Américains. Le principal défi est, dans ce cas, davantage lié à la lisibilité politique de la France au sein de la coalition qu'au sort des armes de l'ensemble de celle-ci. Or, le *leadership* et même la simple participation américaine à nos engagements est passée du stade de confortable présupposition à celui de variable de plus en plus inquiétante compte tenu de la focalisation de Washington sur la Chine et de la situation politique interne américaine. Ce déficit de masse devient plus problématique si l'on considère par exemple un engagement OTAN avec les seuls pays européens face à une Russie aux forces reconstituées après la longue guerre d'Ukraine. Une telle situation devient plausible dans la prochaine décennie. Le déficit devient absolument critique (et même dirimant) si l'on considère cette fois une coalition limitée, là encore sans les États-Unis, avec un petit nombre de partenaires européens face à un adversaire régional dans l'arc de crise. La composante aérienne alliée ne compterait alors guère plus de cinquante à cent avions de combat compte tenu des réductions à l'œuvre aussi dans plusieurs autres armées de l'Air de pays potentiellement interventionnistes. Par exemple, la *Royal Air Force* est déjà à un étiage historique de 160 chasseurs et ne devrait plus repasser au-delà des 200 compte tenu du retrait des *Typhoon* les plus anciens et d'une acquisition de F-35B qui ne devrait pas dépasser les 70 appareils ; la *Royal Danish Air Force* va passer de 44 F-16 à 27 F-35.

Or, compte tenu des proliférations capacitaires à l'œuvre, il est parfaitement envisageable de se retrouver dans les vingt ans face à un adversaire doté d'une force aérienne de plusieurs dizaines d'appareils de génération 4 ou 4,5, d'un véritable IADS intégrant plusieurs dizaines de radars de veille, de batteries longue / moyenne / courte portées, de capacités de guerre électronique plus sophistiquées que le simple brouillage de puissance et plus facilement reconfigurables. De plus, ces IADS devraient logiquement évoluer dans les décennies qui viennent vers une flexibilité tactique accrue (apprenant des retours d'expérience de la Yougoslavie et de l'Ukraine) et vers des architectures de détection voire de détection / engagement plus distribuées qu'elles ne le sont aujourd'hui, donc plus résilientes à la SEAD. Par ailleurs, il est tout aussi envisageable de voir cet adversaire mettre en œuvre des moyens de feux dans la profondeur fondés sur des *Kill Chains* hybrides combinant capteurs commerciaux, drones, moyens de communication par satellites commerciaux, drones-munitions, etc. lui offrant des capacités d'OCA et d'interdiction au moins contre les sites fixes (dont les bases aériennes).

Concrètement, le manque d'épaisseur va tout d'abord rendre l'attrition insoutenable. La perte rapide d'une fraction de la composante aérienne mènerait très probablement à de fortes restrictions dans l'emploi de cette dernière visant à la préserver, ce qui limiterait considérablement les effets qu'elle peut réaliser, voire condamner toute perspective d'établissement de la supériorité aérienne. Le manque d'épaisseur va également contraindre l'efficacité opérationnelle de la composante. Combiné aux défis des allonges et au goulet que constitue la ressource en ravitaillement en vol, il limite le volume de force aérienne déployable à un instant T sur le théâtre, ce qui va avoir un quadruple impact :

- ⇒ Des choix cornéliens concernant l'*apportionment* des ressources par mission ISR/DCA/OCA/OCL ;
- ⇒ Des limites à la conscience situationnelle qui détermine l'ensemble des autres opérations ;
- ⇒ La quasi-impossibilité de maintenir en vol, sauf dans un cadre espace-temps très limité, des dispositifs complexes permettant des actions d'opportunité ;
- ⇒ Enfin, à l'échelle de l'engagement, des combinaisons de combat collaboratif beaucoup moins difficiles à traiter pour l'ennemi.

Certes, le gain d'efficacité opérationnelle attendu des *Rafale* F5 et, plus tard, de NGF employés de conserve avec des F-35 alliés peut garantir une supériorité au niveau de l'engagement et une meilleure capacité à pénétrer les défenses adverses. Cela étant, le volume de la masse pénétrante restera réduit et l'exposera mécaniquement aux contraintes d'attrition évoquées ci-dessus. Plus précisément, une composante réduite pourra difficilement réaliser des opérations de saturation d'un IADS adverse comme celui décrit plus haut, puis exercer des actions de ciblage d'opportunité sur les cibles relocalisables qui abondent, réduisant au final les perspectives de réalisation de la SEAD, *a fortiori* d'effets d'interdiction et/ou la disponibilité pour l'appui aérien rapproché.

2. L'apport potentiel des RC et ses conditions *sine qua non*

Deux options existent pour corriger (nonobstant le renforcement de la dotation en munitions) le déficit d'épaisseur en général : un renforcement du parc d'appareils habités avec une catégorie d'appareils moins sophistiqués et peu coûteux ou la dronisation massive. Ces deux options ne sont d'ailleurs pas entièrement exclusives. La première sort du champ de cette note. On se contentera ici de souligner que d'une part elle représenterait un nouveau défi de RH, d'autre part, elle ne résout pas le problème de la masse pénétrante

L'apport le plus important des drones de combat collaboratif pour le SCAF, leur raison d'être, réside donc bien, selon nous, dans leur aptitude à corriger ce déficit de la masse comme nous l'avons vu avec le débat américain sur la « masse abordable ». Il n'en reste pas moins que les RC sont susceptibles d'apporter également de nouvelles capacités (au sens de « *capabilities* »), lesquelles, sans constituer une révolution, peuvent transformer significativement la puissance aérienne.

2.1. Le prérequis essentiel : des drones forcément « perdables », récupérables ou consommables

Pour que les RC soient en mesure de contribuer à résorber ce déficit d'épaisseur, ils doivent afficher un coût suffisamment maîtrisé pour permettre des volumes d'acquisition significatifs... tout en restant en mesure de réaliser les missions exigées. D'où l'exigence que l'écrasante majorité de ces systèmes restent perdables, ce qui tombe sous le sens pour les drones consommables mais doit aussi être une caractéristique des drones récupérables. Leur

inventaire doit pouvoir encaisser un pourcentage de pertes bien supérieur à celui des appareils habités. Au final, ces RC doivent réduire le « coût par effet » des opérations de la puissance aérienne. La réalisation de la *kill chain* aboutissant à la neutralisation d'un objectif doit être moins onéreuse qu'en employant uniquement la seule composante habitée et ses munitions.

La dronisation à coût maîtrisé présente un autre avantage possible en matière de masse, celle de l'aptitude à durer dans une confrontation. En effet, l'un des biais des conceptions occidentales de ces trente dernières années est d'envisager des confrontations conventionnelles courtes, de quelques semaines ou mois. Or, comme le montre une nouvelle fois la guerre en Ukraine, il est nécessaire de penser des conflits conventionnels sur un an voire plus, en particulier si la balance des capacités est relativement équilibrée. C'est une donnée que les Américains considèrent déjà avec appréhension en ce qui concerne le domaine naval face à la Chine. En matière de puissance aérienne, on peut envisager qu'au moins une partie des RC soit bien plus rapide à produire que les chasseurs habités et qu'un éventuel accroissement de leur production puisse s'inscrire dans le pas de temps d'un tel conflit. Il fournirait alors, comme certaines munitions, la vraie marge de régénération de potentiel de la puissance de combat aérienne. Cette faculté, combinée avec des modes de MUM-T préservant le potentiel des chasseurs sur le théâtre (avec des appareils par exemple en « *quarterback* » à distance de sécurité), est de nature à renforcer l'aptitude de la puissance aérienne à soutenir un engagement de longue durée.

2.2. Les projets et positions d'Airbus et de MBDA

Ce prérequis posé, il est opportun à ce stade de revenir sur les projets d'Airbus et MBDA, les deux industriels responsables, avec SATNUS, du développement des RC dans le SCAF.

Airbus⁶⁵ est responsable du segment « lourd » et « récupérable » de ces RC. Il étudie l'apport des RC sur la base de plusieurs paramètres :

- ⇒ L'efficacité tactique ;
- ⇒ Comme évoqué *supra*, le coût rapporté à l'effet recherché et donc l'efficience par rapport au chasseur, le coût constituant donc un critère opérationnel ;
- ⇒ La disponibilité opérationnelle ;
- ⇒ L'interopérabilité de ces RC avec les autres composantes du SCAF.

L'avionneur considère lui aussi que ces RC récupérables doivent rester « *attritables* » de façon générale. Les options étudiées d'appareils récupérables peuvent aller du RC d'appui peu coûteux à l'UCAV sophistiqué. Il voit par ailleurs dans les gros porteurs et chasseurs *Legacy* des plateformes d'emport intéressantes pour multiplier les capacités de mise en œuvre et, de ce fait, continue de les étudier. Le rayon d'action est un des points d'interrogation importants. Airbus ne ferme encore aucune porte, y compris par exemple celle du RC aérolargué récupérable. On notera enfin qu'en 2021, Airbus a réalisé avec succès des expérimentations de *surrogate* RC avec la *Luftwaffe* dans le cadre des *Timber Express 20 et 21*. Le drone a été

⁶⁵ Entretien et échanges avec un conseiller opérationnel d'Airbus Defence & Space.

testé avec une charge de GE dans le cadre de *Cooperative ESM Operations* (CESMO) et commandé en L16 *via* une passerelle de traduction de liaison de données tactique Curtiss-Wright⁶⁶.

MBDA⁶⁷, de son côté, mène les travaux d'étude des RC consommables déployables depuis des plateformes aériennes et de surface. Les données communiquées au Bourget mettent en avant le travail conceptuel et le développement d'un démonstrateur d'« *Expendable Remote Carrier* » (ERC) avec l'objectif d'un premier vol en 2029. MBDA étudie l'emploi de son ERC, à charge modulaire, pour de multiples missions : la plus couramment mentionnée est le leurrage de saturation en SEAD mais le drone pourrait également être employé en missions d'ISR et de ciblage, de déploiement de senseurs (*sensor grid*), d'attaque électronique, de soutien aux actions air-air (déploiement de senseurs, leurrage et harcèlement), de soutien aux armements dans la profondeur dans le cadre de meutes d'effecteurs et, *in fine*, de frappes cinétiques. L'ERC, de signature radar réduite, pèserait environ 400 kg, aurait une autonomie d'une heure. Il bénéficierait d'une vitesse subsonique et d'une manœuvrabilité élevée lui permettant de répliquer le comportement d'un chasseur et serait doté d'une liaison de données. L'approche est clairement multimilieux puisque MBDA étudie son déploiement non seulement depuis un chasseur ou un RC récupérable de type drone de combat, mais aussi depuis un véhicule terrestre, un bâtiment de surface ou encore un sous-marin.

Ces industriels semblent ainsi très exactement sur la même logique que les solutions de CCA prioritairement explorées par les experts réunis par le Mitchell Institute.

2.3. Des apports à l'efficacité opérationnelle de la puissance aérienne

Si le renforcement de l'épaisseur de la puissance aérienne est au cœur de la conception des drones dans les systèmes de combat aérien futurs, ces RC sont, de plus, susceptibles de conférer des plus-values significatives aux « *capabilities* » de la puissance de combat, comme l'envisagent les industriels ou encore, entre autres, les *wargames* du Mitchell Institute.

En premier lieu, les drones restent avant tout des outils permettant de limiter l'exposition des pilotes. Ce faisant, plus encore que l'épaisseur de l'ensemble de la composante aérienne, les RC vont accroître la « masse pénétrante » déjà évoquée plus haut, donc en mesure d'opérer dans le rayon d'action des armes adverses. Cette capacité « *stand-in* » mettra un plus grand nombre de cibles dans le rayon d'action des munitions de courte ou moyenne portée, elles-mêmes moins coûteuses et aux inventaires plus étoffés que les missiles *stand-off* et les missiles air-air longue portée. L'action *stand-in* permet aussi, dans le domaine de la guerre électronique, d'améliorer le « signal sur bruit » en matière de brouillage.

Ensuite, par leur multiplicité, ces RC vont permettre de disperser, de désagréger les capacités de renseignement et d'engagement/combat, c'est-à-dire de répartir des capacités qui étaient

⁶⁶ Curtiss-Wright, « [Curtiss-Wright Successfully Demonstrates TCG-HUNTR Tactical Data Link \(TDL\) Hub and Network Translator During Timber Express 2020](#) », 28 juillet 2020 ; Lt Col. Volker Schaaf, IDL, « [Timber Express – Digitisation for the Tactical Advantage](#) », *IDL Soc Newsletter*, août 2021, pp. 2-3.

⁶⁷ Entretien et échanges avec un conseiller opérationnel et un ingénieur de MBDA.

auparavant assurées de façon plus centralisée par un nombre limité de plateformes habitées. Les implications sont multiples :

- ⇒ Tout d'abord, cette désagrégation multipliera pour l'adversaire les éléments à détecter, identifier, cibler et atteindre. En gros, elle peut compliquer considérablement sa *situational awareness* et son plan d'engagement. Ce faisant, elle accroît notablement la résilience de la capacité ;
- ⇒ En miroir, elle offrira au commandement de la composante aérienne une plus grande diversité de modes d'action pour structurer sa manœuvre. Elle peut permettre, par exemple, de mieux appliquer les options de « *parallel warfare* » c'est-à-dire l'aptitude à traiter simultanément plusieurs systèmes d'objectifs ou catégories d'objectifs différents. Elle permettra également des opportunités accrues de manœuvre de déception pour désorienter le commandement adverse ;
- ⇒ Ces RC accroîtront notablement les espaces couverts par les dispositifs aériens qu'il s'agisse des couvertures de détection ISR ou du volume d'objectifs traitables à un moment donné. Ce type de dispositif est absolument nécessaire dans le domaine de ciblage d'opportunité par exemple ;
- ⇒ Cette diversité d'options de mode d'action se retrouvera au niveau subtactique, de la mission. Par exemple, en dispersant les nœuds effecteurs, les RC augmenteront de façon substantielle les possibilités de saturation des différents systèmes de défenses adverses.

En outre, la désagrégation des capacités devrait se traduire également par la diversité des modalités de mise en œuvre de ces RC en fonction de leurs types : potentiellement depuis des appareils aériens (chasseurs, gros porteurs, autres RC ou systèmes de drones plus classiques), des plateformes navales, des plateformes terrestres, y compris les lance-roquettes, des rampes déployées sur des bases sommairement aménagées, etc. Certes, la totalité de ces options ne sera évidemment pas retenue. Il n'en reste pas moins que les implications possibles de cette diversité sont multiples :

- ⇒ Elle accentuera la flexibilité de la posture de déploiement et donc la disponibilité de la puissance aérienne. On peut par exemple envisager, comme le font les Américains, des pré-positionnements de RC sur plusieurs bases avancées, ce qui limiterait les contraintes logistiques de projection ;
- ⇒ Elle est de nature à accroître la flexibilité d'emploi et la résilience de la puissance aérienne. Le pré-positionnement de ces drones pourrait par exemple se mouler dans le concept américain, repris par l'OTAN, d'*Agile Combat Employment*, c'est-à-dire de manœuvre de déploiement/redéploiement dynamique d'appareils d'un aérodrome à un autre, cette dispersion des plots devant compliquer le ciblage adverse.

Nous détaillerons plus loin ces multiples éléments dans les différentes missions de la puissance aérienne.

2.4. Des conditions complémentaires

De multiples conditions se posent à la mise en œuvre de ces concepts de systèmes de drone de combat collaboratif et de MUM-T.

En premier lieu, garantir le caractère « perdable » des RC tout en conservant des capacités opérationnelles permettant d'accomplir les missions exigées impose évidemment de délicats compromis sur les caractéristiques des drones. Certains concernent évidemment les équipements de mission (par exemple, la sophistication des capteurs et des systèmes de communication). D'autres ont trait au *design* des appareils et peuvent s'avérer plus difficiles à réaliser. Par exemple, un drone consommable utilisé comme leurre répliquant un avion de chasse suppose des performances exigeant une motorisation qui peut rendre le drone onéreux. Bien évidemment, la modularité des composants des appareils, là où elle est possible, sera certainement recherchée pour diminuer les coûts. De plus, comme l'expliquent les Américains, des compromis seront également à trouver sur les niveaux de redondance des équipements, donc sur la fiabilité.

Ensuite, il sera nécessaire de développer des capteurs et des armements spécifiques, adaptés à ces plateformes, comme on le voit déjà sur les systèmes de drones existants, tels le *Bayraktar* et ses bombes miniaturisées. Par exemple, les joueurs des *wargames* du Mitchell Institute évoquent le besoin de développer des missiles air-air de plus petite dimension, moins coûteux que les systèmes actuels.

Ensuite, le principe du MUM-T repose sur le principe cardinal du combat collaboratif connecté, selon lequel les différents éléments (avion habité, RC, armements) du NGWS se comportent comme un unique système d'arme désagrégé.

La première condition est de construire le fameux *cloud* de combat, qui doit assurer la « glue informationnelle », le tissu conjonctif du système de systèmes. Ayant consacré une note à ce sujet, nous n'y reviendrons pas en détail ici⁶⁸. Nous insisterons simplement sur quelques points particuliers. Tout d'abord, notons qu'il n'est pas évident que la totalité des RC doivent faire partie de ce *cloud*. Par exemple, sera-ce nécessaire pour certains RC consommables ?

Quoi qu'il en soit, dans ce contexte, la connectivité revêtira bien sûr une importance critique. Elle sera évidemment conditionnée tout d'abord par la fonction des drones et la nature du MUM-T, impliquant par exemple la nécessité ou non de remonter à la plateforme habitée les données de capteurs embarqués. Elle dépendra évidemment aussi des concepts d'emploi et des distances d'engagement qui en découlent. Cette connectivité pourra par exemple aller du cas simple de la connexion en ligne de vue point à point d'un ou plusieurs drones à la plateforme habitée, à des architectures beaucoup plus compliquées. On peut par exemple envisager des RC opérant en grand nombre à des centaines de kilomètres de la ou des plateformes habitées. De tels concepts pourraient alors nécessiter des architectures de type Internet des objets du champ de bataille. Ces architectures hybrideraient par exemple du SATCOM et des drones relais dont certains RC en bout de course assureraient une desserte de communication au sein de salves ou de meutes de RC ou d'armements constituant des réseaux en étoile ou maillés locaux. L'exposition de cette architecture aux menaces de guerre

⁶⁸ Philippe Gros, *op. cit.*

électronique et de LIO sera bien entendu un critère majeur. Le recours à des technologies comme les communications optiques entre les relais et la 5G pourraient faire particulièrement sens ici.

Le MUM-T dernier suppose également un certain niveau d'autonomie. Cette « semi-autonomie » concerne tout d'abord les systèmes d'information des appareils habités, nœuds principaux du *cloud* de combat. Ces systèmes devront assurer une gestion des multiples tâches de traitement de l'information encore plus autonome que maintenant. L'évolution est déjà notable entre un Rafale et un Mirage 2000. Dans le premier cas, le pilote ne passe plus environ qu'un tiers de son temps à piloter sa machine et peut consacrer les deux autres tiers à la gestion de sa mission, à la tactique, etc., une proportion inversée par rapport au Mirage. La gestion des drones et de l'ensemble du combat collaboratif exige d'aller plus loin encore, avec de multiples techniques d'intelligence artificielle. Cette autonomie partielle devra évidemment caractériser aussi les systèmes de drones. Elle est indispensable tout d'abord pour décharger l'opérateur de l'ensemble des tâches de pilotage du drone (comme cela reste le cas actuellement), une obligation si l'opérateur en question est le pilote d'un chasseur et si le nombre de RC par opérateur se multiplie. Elle est également nécessaire dans le contexte d'opérations en environnement contesté sur le plan électromagnétique où les liaisons seront déconnectées, intermittentes ou limitées (*Disconnected, Intermittent, Limited, DIL*). Elle restera étroitement bornée cela étant. Il devrait en aller ainsi, par exemple, de l'espace de manœuvre accordé au drone. Surtout, il n'est guère envisageable d'aller au-delà de « l'homme sur la boucle », l'opérateur restant pleinement en charge des prises de décision critiques, tel l'engagement. En cela, la détermination des règles d'engagement revêt évidemment un caractère critique.

La question de la gestion des actions de ces RC est également un sujet. On lui applique souvent le terme de commandement et contrôle (C2) mais là encore, la notion peut poser problème. Les autorités de C2 s'exercent en effet sur des hommes. Inversement, la gestion d'un drone par un opérateur ne relève habituellement pas de cette fonction. Il est donc proposé de distinguer deux niveaux potentiels de gestion de ces RC :

- ⇒ La majorité des drones sera probablement contrôlée au niveau de la « gestion de la mission » par un équipage au sein d'une patrouille. Cette gestion de mission recouvre classiquement les routes, la configuration de la patrouille en encore la tactique utilisée. On rejoint ici la notion américaine de drone « *Tethered* », rattaché à une plateforme habitée, même si le drone est dans la pratique très éloigné du chef de mission. Relève typiquement de ce niveau l'emploi du drone en « *loyal wingman* », que l'on peut traduire par « drone ailier », de l'appareil habité. D'autres configurations sont cependant possibles.
- ⇒ Cela étant, il ne faut pas exclure un second niveau de gestion des actions de ces drones, celui de la « gestion de la bataille » (le « *battle management* » – BM) niveau d'exécution des décisions prises par les autorités de C2 (raison pour laquelle on parlera de BMC2)⁶⁹. Elle peut s'avérer nécessaire pour gérer la manœuvre tactique d'un grand nombre de drones opérant en propre, détachés des missions d'un appareil habité. Rappelons que la fonction BMC2 consiste concrètement en la

⁶⁹ Le *Battle Management* est « la gestion des activités dans l'environnement opérationnel sur la base des ordres, des directives et des orientations donnés par les autorités compétentes » (Doctrines américaine Joint Pub 3-01).

coordination et la synchronisation des actions et activités de l'ensemble des moyens engagés (ISR, effecteurs, ravitailleurs, etc.) dans la bataille aérienne. Le BMC2 est aujourd'hui en général décentralisé au niveau des appareils de guet aérien (comme l'E-3 ou l'E-2 *Hawkeye* de la Marine), des appareils de surveillance du champ de bataille (comme le JSTARS américain), des centres de détection de contrôle (CDC) au sol ou encore des navires de combat. Le SCAF, comme les NGAD américains, prévoit de confier aux pilotes des chasseurs de nouvelle génération comme le NGF des capacités locales de BM. Le F-35 semble représenter un précurseur en la matière⁷⁰.

Cette gestion devrait pouvoir s'envisager de façon dynamique en fonction du contexte. Selon les Américains, ces questions du niveau de gestion des missions, des règles d'engagement et du degré d'autonomie opérationnelle accordé aux drones sont en fait interdépendantes. Dans certains cas, par exemple en environnement fortement DIL, la gestion par la fonction BMC2, quand bien même elle serait logique, ne sera pas forcément possible. Selon eux, plus cette contrainte DIL sera forte, plus l'action semi-autonome des drones sera recherchée, évidemment dans le cadre de ROE étroitement fixées.

La situation présente justifie donc pleinement que les architectes du SCAF, au même titre que leurs homologues des autres grandes puissances, misent sur un *Next Generation Weapon System* réunissant les plateformes habitées et des systèmes de drones déportant des capacités, tous intégrés par un *cloud* de combat.

3. Les options de systèmes de drones aériens de combat collaboratif : quelques pistes de réflexion par mission

Le point de départ de la réflexion est d'aborder l'analyse par missions/fonctions prioritaires : ISR, C2, DCA, OCA/SEAD, CL (AI /CAS) et CS. Dans l'absolu, pour chacune de ces missions, il conviendrait de réfléchir à la nature des principales capacités nécessaires prises globalement, ensuite de définir ce qu'apporteraient les RC dans ce contexte en complément des plateformes habitées, enfin d'en inférer différents concepts d'emploi de différents types de RC et de MUM-T constituant des variantes de systèmes de systèmes. Découlent de ces concepts les caractéristiques de ces RC quant à leur nature et leur emploi : caractère consommable ou récupérable, caractéristiques (rayon d'action, performances de vol...), types de charge utile et d'équipement de mission, mode de mise à poste (aérolargage ou système basé à terre), éventuellement de récupération, modes de gestion de leur mission en MUM-T avec les appareils habités, etc.

En cette matière, seules des études technico-opérationnelles poussées, pratiquées par les industriels et la DGA, peuvent combiner ces multiples paramètres pour déterminer les meilleures options de systèmes. La présente note n'a pas pour ambition de les décliner, ce d'autant que la recherche en la matière n'est pas achevée. On se contentera de proposer quelques exemples plausibles.

⁷⁰ Voir Philippe Gros, « [La décentralisation du commandement et du contrôle \(C2\) des opérations aériennes](#) », *Recherches & Documents*, n° 12/2020, FRS, 18 septembre 2020.

3.1. Les RC dans la fonction renseignement

Dans le contexte évoqué, la fonction ISR aéroportée interviendra principalement en complément des capacités spatiales pour appuyer les opérations dans la profondeur dans l'ensemble des milieux, au profit de l'ensemble des cycles décisionnels, de la planification opérationnelle aux cycles de conduite d'opportunité. Cela signifie qu'elle a tout d'abord besoin de capacité de recueil de ROIM en mesure de couvrir de larges zones car il n'est pas évident qu'à l'horizon considéré, la France puisse bénéficier d'une capacité ROIM spatiale suffisamment massive et dans le domaine radar réactive (donc souveraine). Si notre pays est mieux pourvu en ROEM spatial, ces capacités n'en restent pas moins limitées elles aussi et devraient faire l'objet d'un complément important par la composante aéroportée.

La non-permissivité implique que ces capteurs soient pénétrants et plus nombreux. Les appareils de combat de prochaine génération, y compris le NGF, sont d'excellents atouts putatifs en la matière mais ils seront largement consommés par les missions d'engagement/combat, notamment en conduite des opérations. Les drones de théâtre comme l'*Eurodrone* seront trop vulnérables. Les capteurs ROEM dédiés tels les *Archange*, déjà peu nombreux, restent des moyens *stand-off*. Leur portée de détection ROEM sera limitée à la ligne de vue donc à la grande profondeur tactique. On peut donc logiquement penser que les RC seront au cœur de cette fonction pour aller recueillir du renseignement en *stand-in*, au cœur des systèmes de défense adverse.

Partant de ce constat, de multiples concepts peuvent être envisagés, parmi lesquels des RC opérant :

- ⇒ En MUM-T avec les *Archange*, dotés évidemment de capteurs ROEM mais aussi possiblement de capteurs ROIM pour une fusion multicapteurs sur la base des perceptions réalisées ;
- ⇒ Comme capteurs autonomes ROIM/ROEM ou multicapteurs dans la grande profondeur comme l'envisage *Lockheed-Martin* avec son NGUAS ;
- ⇒ En appui ISR direct (escorte et ouverture de route) de raids ou d'armements.

Les options de RC en découlant peuvent potentiellement être très variées. Par exemple, on peut envisager à un bout du spectre des systèmes de drones récupérables furtifs, à tout le moins de signatures réduites, en mesure d'embarquer des capteurs ROIM, ROEM, ainsi qu'une liaison de données haut débit pour transférer les données, voire des capacités de traitement *in situ* de ces données⁷¹ afin d'économiser cette bande passante. On peut tout autant imaginer des RC plus petits embarquant des capteurs type *Electronic Support Measures* (ESM) opérant en MUM-T des plateformes habitées pour élargir la zone de détection.

3.2. Les RC dans les missions de « Defensive counterair »

Les actions de la chasse dans la DCA vont consister à assurer une défense de zone le plus en amont des ressources ou sites à protéger des frappes adverses. Un dispositif classique fondé

⁷¹ Ce que l'on désigne comme du *far edge computing*, c'est-à-dire un type de *cloud* dans lequel la capacité de calcul est dispersée au niveau des plateformes, sur la frange tactique.

sur des AWACS, assurant le guet aérien et le *battle management*, et des chasseurs habités en nombre limité se heurtera à de multiples défis :

- ⇒ Ceux liés à l'environnement opérationnel, à savoir la dimension de l'espace aérien à couvrir et la réactivité ou la permanence de cette couverture ;
- ⇒ Ceux liés aux capacités et mode opératoires adverses : nombre d'engagements à réaliser concomitamment, particulièrement en cas d'attaque de saturation adverse, mais aussi portée d'engagement par l'adversaire.

Moscou et Pékin, depuis longtemps confrontés au défi de la puissance aérienne occidentale, misent sur cette portée d'engagement pour pouvoir sinon abattre, du moins repousser, et donc neutraliser effectivement, les appareils de guet aérien, déterminants pour garantir la supériorité informationnelle, atout primordial dans le combat aérien. En témoignent les évolutions du missile R-37 russe de 200 km de portée ou le nouveau PL-17 chinois revendiquant 400 km de portée. Certes, les capacités les plus récentes des chasseurs (furtivité des F-35 de la coalition, formes d'onde des radars moins interceptables, optronique infrarouge, capteurs ESM) ou à venir (furtivité du NGF, décentralisation des capacités de BMC2) sont conçues, dans une certaine mesure, pour faire face à ce risque de suppression des AWACS. Mais la qualité et l'étendue de la couverture de détection sont-elles alors équivalentes ?

Sur ce plan, les RC auraient un premier rôle à jouer, celui de contribuer à un dispositif distribué de détection en MUM-T avec les chasseurs, en maillant le ciel de capteurs, probablement IR, voire radars en avant des appareils habités. Un second rôle serait celui de leurs plus ou moins sophistiqués, répliquant la signature de chasseurs.

On peut envisager de multiples types de RC, par exemple :

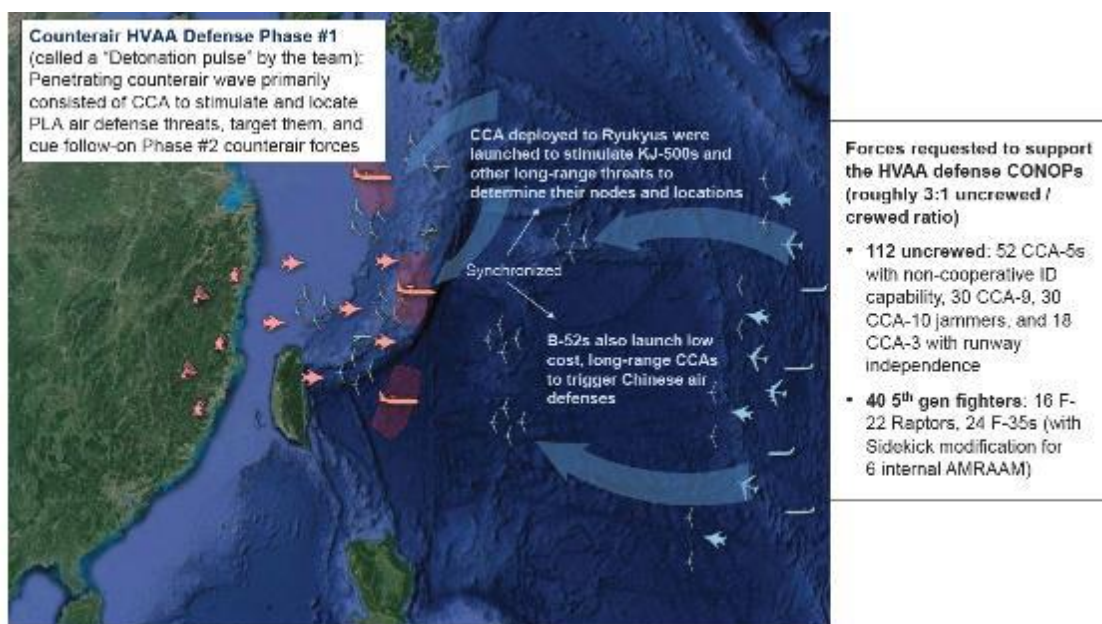
- ⇒ Des RC basés à terre, disposant d'une autonomie suffisante pour tenir la durée d'une longue patrouille, équipés de capteurs et de liaison de données haut débit, donc forcément coûteux, donc récupérables ;
- ⇒ Des RC plus petits consommables contribuant aux réseaux de capteurs ou pratiquant le leurrage. Ces engins seraient mis en œuvre par des RC gigognes, par des chasseurs habités ou par de grosses plateformes déployés au-delà de la portée des missiles de la chasse adverse.

Intervient ensuite l'engagement proprement dit. De prime abord, les capteurs et la furtivité des appareils mais aussi la portée des missiles (*Meteor*, nouvel AIM-260 américain) devraient garantir un certain facteur de supériorité. Cela étant, les RC déployés en avant de la patrouille, en engagement collaboratif multiplateformes, pourraient jouer un rôle dans les phases de détection et d'approche. Surtout, en cas d'attaque de saturation adverse se traduisant par l'emploi de nombreux chasseurs et plus sûrement par un large nombre de drones-munitions, les chasseurs amis peuvent se retrouver à court de munitions. Les RC peuvent avoir un impact important aussi dans la fonction de portes-missiles déportés. Dans ce cas, on peut envisager des RC porte-missiles moins coûteux. Cela étant, en cas de non-engagement, il est difficile d'envisager de sacrifier le drone et sa charge utile de missiles. L'emploi de RC récupérables apparaît ainsi logique mais des RC consommables maintenus en réserve et engagés en cas de

besoin sont également envisageables. Enfin, sur le plan du contrôle, le concept de LW, de RC rattachés au chasseur ou à tout le moins au chef de patrouille, ferait particulièrement sens.

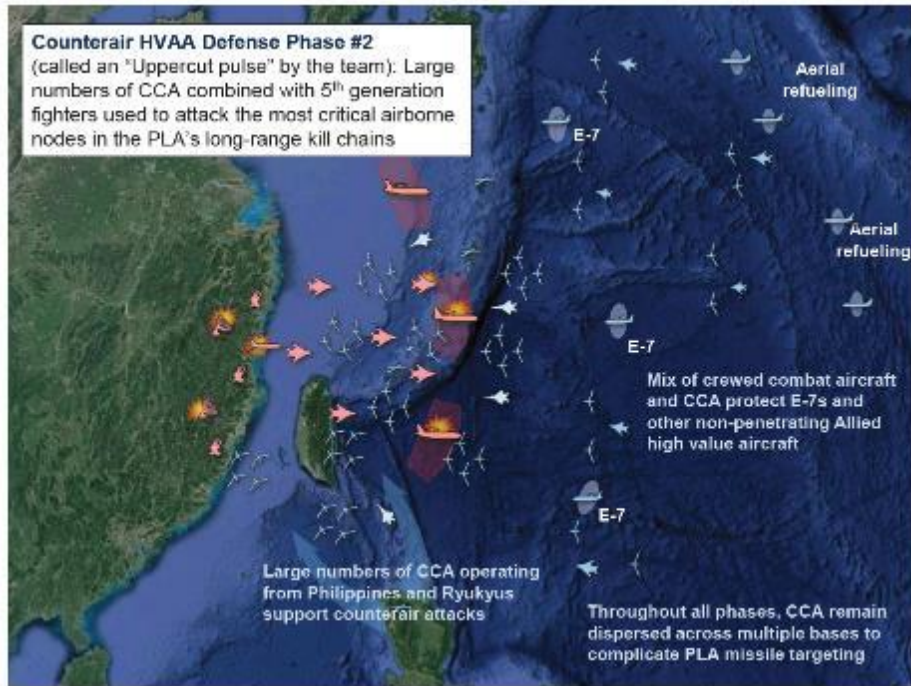
À titre d'exemple, lors du *wargame* du Mitchell Institute, l'équipe concentrée sur une mission combinant DCA/OCA (en l'occurrence une mission offensive destinée à protéger les AWACS et ravitailleurs) conçoit un plan d'attaque des AWACS et de la chasse adverse en deux phases :

- ⇒ Une première phase (schématisée ci-dessous) employant plusieurs dizaines de CCA consommables, mixant drones à long rayon d'action, soit des engins discrets à fins d'ISR et de communication (CCA-9 dans le tableau présenté en 1.3.2), soit des engins furtifs de guerre électronique (CCA-10), ainsi que des drones de combat aérien plus petits aérolargués (CCA-5), employés à des fins d'identification. L'ensemble est destiné à stimuler, localiser le dispositif chinois et communiquer les coordonnées aux AWACS plusieurs centaines de kilomètres en arrière ;



Source : Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, *The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare*, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, p. 28

- ⇒ Un second dispositif plus important encore, pour attaquer les appareils chinois au moment où ils sont à court de carburant (voir schéma ci-dessous). Le dispositif américain comprend alors plusieurs dizaines de chasseurs F-22/F-35 et une vingtaine de drones CCA furtifs, subsoniques, équipés de capteurs IR et radar AESA, et embarquant six missiles AMRAAM (CCA-3).



Source : Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, *The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare*, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, p. 29

Les drones à long rayon d'action sont mis en œuvre depuis des bases peu ou pas aménagées dans la zone où ils ont été dispersés voire relocalisés de façon dynamique, selon le concept d'*Agile Combat Employment*.

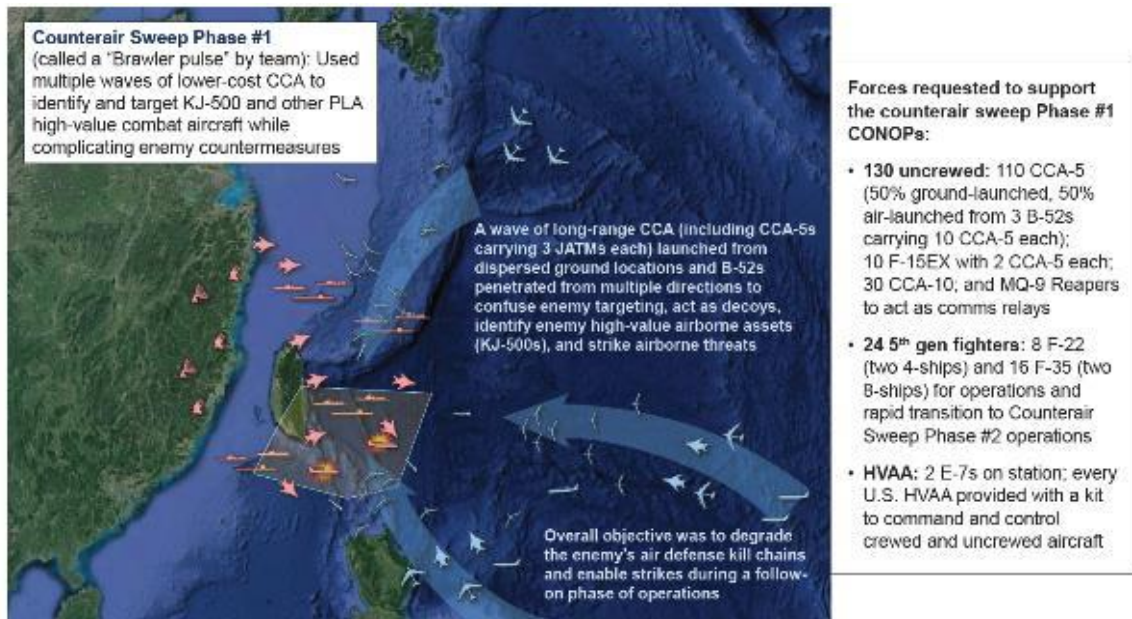
3.3. Les RC dans les missions « d'Offensive counterair »

3.3.1. La chasse offensive

En matière d'*offensive counterair*, la première mission est celle de la chasse offensive (*fighter sweep*) permettant l'acquisition de la supériorité aérienne sur le territoire adverse en abattant les chasseurs adverses et les appareils de guet aérien qui les guident et les contrôlent, le cas échéant en lien avec l'IADS adverse et dans le rayon d'action de ses missiles surface-air. Elle serait donc entreprise parallèlement à la SEAD.

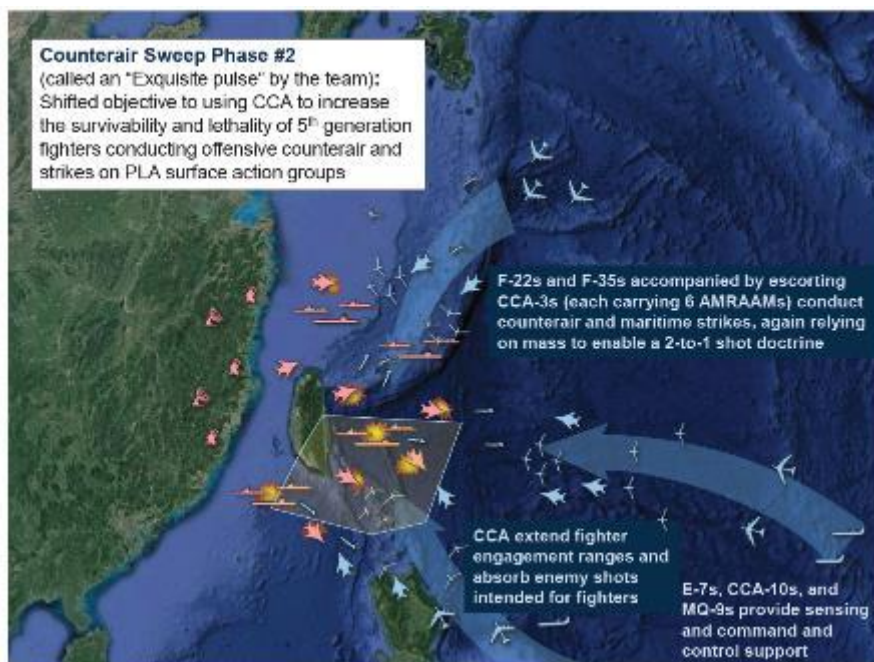
La mission nécessite d'acquérir une supériorité informationnelle sur la chasse adverse tout en limitant la détectabilité des chasseurs amis par les dispositifs aérien et terrestre. Dans une telle situation, le combat collaboratif entre chasseurs habités furtifs et RC fait particulièrement sens. Ces RC pourraient être employés en *packs* combinant des leurres pour stimuler les radars adverses en répliquant la signature de chasseurs ou des missiles de croisière, des RC équipés de capteurs ESM, IR ou radar, enfin des RC dotés de missiles air-air opérant comme effecteurs déportés. On peut imaginer que ces RC opèreraient en échelonnement, avec les leurres en première « ligne », puis les RC capteurs et effecteurs eux-mêmes bien en avant des chasseurs habités pour limiter l'exposition de ces derniers et leur permettre d'exploiter la portée maximale de leurs missiles.

Prenons une nouvelle fois appui sur le travail du Mitchell Institute à des fins d'illustration. Pour « brêcher » un dispositif chinois bien constitué en début de campagne, l'équipe focalisée sur cette mission OCA fait le choix d'engager en collaboration avec les F-22 et F-35 restant bien en arrière, un grand nombre de CCA-5 consommables grésés en leurres, en éléments de réseaux multistatiques de capteurs passifs et porte-missiles air-air. Là encore, ces CCA sont mis en œuvre depuis des bases avancées où ils ont été positionnés ou largués par des bombardiers et des chasseurs de quatrième génération. Des CCA-10 à long rayon d'action, conjointement avec des MQ-9 *Reaper*, assurent le relais de ce dispositif d'attaque avec les AWACS E-7 assurant le BMC2 (voir schéma ci-dessous).



Source : Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, *The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare*, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, p. 25

Les experts américains n'engagent les RC récupérables que dans la phase suivante, lorsque la capacité adverse a été suffisamment dégradée pour limiter leur attrition et rendre la campagne soutenable. Ce sont les mêmes CCA-3 que dans le cas précédent. Ces CCA sont employés à raison de deux drones ailiers pour chaque chasseur habité et disposés comme patrouilles de combat avancé. L'ensemble compose plusieurs lignes d'attaque successives, lesquelles réalisent aussi parallèlement des frappes sur les navires chinois. Des CCA consommables sont également employés comme leurres de ces lignes d'attaque (voir schéma ci-après).



Source : Col. Mark A. Gunzinger, USAF (Ret.), Maj. Gen. Lawrence A. Stutzriem, USAF (Ret.), Bill Sweetman, *The Need For Collaborative Combat Aircraft For Disruptive Air Warfare*, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, Air & Space Forces Association, février 2024, p. 26

3.3.2. La suppression des défenses antiaériennes adverses

Dans une note précédente, nous avons envisagé quatre niveaux de SEAD : la SEAD non létale, la SEAD défensive, la SEAD offensive limitée et la ligne d'opération plus globale de contre-IADS combinant SEAD et *Attack Operations* sur les bases aériennes. Dans ce dernier cas, au moins en début de campagne, la SEAD serait entreprise de façon intégrée avec le *fighter sweep*. Elle devrait à des degrés divers comprendre les phases suivantes :

- ⇒ L'aveuglement des principaux dispositifs de veille de l'IADS adverse par des frappes longue portée, notamment à haute vitesse (supersonique haut voire hypersonique) ;
- ⇒ Ensuite, la désintégration initiale du IADS par la saturation du C2 et la neutralisation des systèmes longue portée, passant par combinaison des effets cinétiques et non cinétiques (leurrage, attaque électronique et lutte informatique offensive), qui exige une capacité à orchestrer des effets en parallèle sur un grand nombre d'éléments du système et une puissance de « feu » massive, y compris à longue portée ;
- ⇒ Enfin, l'usure au long cours, sur plusieurs semaines, des capacités surface-air résiduelles adverses, des défenses de points, sachant que la SEAD entreprise depuis trente ans supprime plus les batteries de SAM qu'elle ne les détruit. Elle exige un fort dispositif de ciblage d'opportunité.

Bien entendu, tout dépend du contexte. Les trois phases peuvent parfaitement se chevaucher. Il s'agit indiscutablement de la mission de combat pour laquelle les forces aériennes européennes, y compris l'AAE, sont les moins bien pourvues et préparées. C'est donc sur cette mission que la présence des RC pourrait donner toute sa mesure.

Dès la phase d'aveuglement des dispositifs de veille, les RC représentent les moyens idoines de stimulation des radars adverses à cibler. Il est loisible d'envisager ici, en plus des drones ISR précédemment évoqués, soit des drones terrestres à long rayon d'action, soit des RC aérolargués par d'autres vecteurs : appareils furtifs mais aussi, potentiellement, d'autres drones gigognes ou encore des roquettes longue portée. Dans tous les cas, il s'agirait forcément de systèmes à long rayon d'action, de plusieurs centaines de kilomètres. Leur charge utile pourrait être de deux ordres : des moyens ESM permettant de communiquer des données de ciblage aux systèmes de frappe antiradar à longue portée et des charges de leurrage, par exemple de signatures de missiles et de chasseurs. Il s'agirait ici logiquement de RC consommables, ce d'autant que ces deux types de charge utile ne sont pas parmi les plus onéreuses. Pour conserver à ces systèmes un coût suffisamment abordable, il serait logique de contrôler ces drones *via* une liaison radio et des drones relais, de préférence à une liaison par satellite de communication. Enfin, la gestion par la fonction BM ferait particulièrement sens dans ce cas.

Ce type de dispositif aurait plus encore d'utilité pour la phase de désintégration de l'IADS visant d'autres radars de veille, les radars de poursuite et d'engagement des batteries SAM, les nœuds de C2, etc. C'est à ce stade que les RC seraient employés le plus massivement pour générer une forte confusion de la *situational awareness* des responsables de l'IADS adverse. Les RC envisageables se diversifient alors. Si plusieurs radars de veille adverses ont déjà été neutralisés, ouvrant des brèches dans le dispositif de détection, les RC employés ici pourraient avoir un rayon d'action moindre. En termes de charge utile, aux leurres pourraient s'ajouter des charges cinétiques et des charges de contre-mesures électroniques, incluant par exemple la mise en œuvre de réseaux d'antennes distribuées, des capacités d'intrusions cyber-électroniques *via* les radars et les liaisons de données adverses et la mise en œuvre d'armes électromagnétiques de fortes puissances.

Le mode opératoire serait de constituer un dispositif en mesure de congestionner l'espace aérien contesté par un grand nombre de RC. L'objectif serait de forcer l'adversaire au dilemme classique entre poursuivre ses opérations et risquer la destruction (par du ciblage d'opportunité entrepris par ces drones-munitions de façon quasi autonome ou par les missiles des plateformes habitées) ou couper ses radars pour survivre, ce qui aboutit pour la coalition à un effet de suppression, laissant les appareils libres de mener leurs frappes sur d'autres objectifs. Un tel dispositif pourrait par exemple être constitué d'un mix de RC consommables (« camionnettes » maraudeuses à munitions, leurres, moyens ESM) et RC récupérables dotés des charges utiles électroniques les plus onéreuses. Les joueurs du Mitchell Institute estiment toutefois, là aussi, que les RC consommables seraient à privilégier, afin d'éviter de trop lourdes pertes dans l'inventaire des drones plus onéreux.

Cet effort de désintégration exigerait un mode d'action de saturation avec une puissance de feu exploitable sur une séquence de quelques heures. Or, il peut largement excéder les capacités d'emport des plateformes habitées, *a fortiori* si ces dernières sont déjà engagées en combat aérien ou contre des aérodromes. Il serait en ce cas logique de multiplier les solutions de mise à poste de ces RC : drones gigognes basés à terre embarquant plusieurs RC, plateformes lourdes positionnées hors de portée des missiles sol-air longue portée adverses, etc. Enfin, les RC-maraudeurs devraient disposer d'un degré d'autonomie permettant de leur faire réaliser des attaques collaboratives de manière quasi autonome, incluant potentiellement aussi des armements (missiles de croisière, bombes planantes) dans le cadre

de salves manœuvrantes composites au sein des bulles encadrées par des règles d'engagement spécifiques.

Il existe néanmoins une incertitude importante quant à la viabilité de ce concept contre les IADS les plus performants. En effet, la saturation par engins consommables est déjà la norme avec le Yémen et l'Ukraine même si les dispositifs d'attaque houthis ou russes ne comportent pas de munitions maraudeuses, mais des drones d'attaque sur coordonnées. Quoi qu'il en soit, toutes les défenses antiaériennes des grandes puissances sont déjà en train de s'adapter à cette menace de saturation : adaptation des modes de détection (combinant radars micro-ondes, détecteurs acoustiques, etc.), redécouverte des canons, mise en œuvre dans les prochaines années d'armes à énergie dirigée, de missiles nettement moins coûteux, à terme plus grande distribution de ces capacités de détection compte tenu de l'évolution technologique des radars et du C3, etc. Une telle transformation est de nature à relever le seuil de saturation à plusieurs centaines d'engins mis en œuvre en parallèle.

La complexité de cette bataille initiale de désintégration pourrait impliquer une gestion de l'ensemble par une fonction BM, laquelle gagnerait en réactivité et en résilience par sa décentralisation au niveau des nœuds de C2 tactiques : AWACS, dans le futur NGF, etc. Sur ce plan, le déploiement de RC maraudant une ou plusieurs heures pourrait impliquer le transfert de leur contrôle tactique d'une plateforme de BM à une autre, d'un commandement de mission à la fonction BM, ou inversement. Cette agilité du C2 nécessite une connectivité qui soit pleinement MANET (*Mobile Ad Hoc Network*) et particulièrement résiliente.

La dernière phase, bien plus longue, est celle de l'attrition des défenses de points par de la SEAD réactive. Elle nécessiterait dans l'absolu un dispositif de ciblage d'opportunité avec une couche quasi permanente de capteurs en mesure de créer des *Kill Web* avec tout effecteur disponible air-surface mais aussi surface-surface au moment où la cible se dévoile ou est détectée. L'un des modes opératoires est alors la manœuvre de saturation du système ciblé par des attaques tous azimuts. Les RC représentent évidemment la ressource de choix pour le dispositif de détection en MUM-T avec les plateformes ISR, mais pourront également fournir des effecteurs. Si le dispositif de détection nécessite probablement une gestion par la fonction BM, les RC employés en drones ailiers des chasseurs font particulièrement sens.

3.4. Les RC dans les missions de counterland

3.4.1. Les missions d'interdiction

En matière d'*Air Interdiction*, comme dans le cas de la SEAD, il convient de distinguer le ciblage planifié en temps réfléchi (*Deliberate Targeting*) et le ciblage d'opportunité (*Dynamic Targeting*), ce dernier entrepris selon le cycle *Find, Fix, Track, Target, Engage, Assess* (F2T2EA).

Pour exercer des effets pérennes de destruction, de perturbation, de diversion ou de retardement sur les lignes de communication, les télécommunications, la logistique, les feux indirects, les échelons de renfort de l'adversaire voire sur ses systèmes d'objectifs plus stratégiques, ces opérations d'AI nécessitent en général une grosse puissance de feu. Il peut s'agir d'exercer cette puissance de feu dans le temps, d'effectuer de multiples frappes de « revisite » pour empêcher l'adversaire de reconstituer ses capacités. Comme la guerre en

Ukraine le montre à nouveau, des frappes sporadiques n'ont en général que des effets tout aussi sporadiques, ne permettant pas de réellement modeler le champ de bataille. De même, le ciblage d'opportunité nécessite d'y consacrer un dispositif de capacités ISR et d'effecteurs significatif.

De plus, l'AI est synonyme d'actions dans la profondeur, donc forcément menées en environnement non permissif ou au mieux semi-permissif, sauf à les entreprendre une fois que les missions d'OCA ont permis d'établir la supériorité aérienne, ce que les effets opérationnels recherchés peuvent ne pas permettre.

Les appareils habités et les missiles de croisière fournissent les capacités adéquates pour réaliser des raids de *Deliberate Targeting*, du moins pour l'instant. La LPM, en finançant l'acquisition de suffisamment de munitions, permettra sans doute de démultiplier le nombre de ces raids. En revanche, la pénétrabilité en environnement non permissif reste contingente aux volumes de munitions longue portée et au nombre d'avions de combat au bon niveau de performances tactiques dont disposera la coalition. De plus, le nombre de ces plateformes serait sans doute très insuffisant pour garantir à la fois le maintien de dispositifs de ciblage d'opportunité en SEAD et en AI. Pour ces deux raisons, les RC paraissent indispensables.

Nonobstant les besoins associés aux efforts d'OCA accompagnant ces missions, le *Deliberate Targeting* pourrait par exemple impliquer des RC au *design* furtif, récupérables, à long rayon d'action, porteurs de munitions air-sol, voire de RC consommables, opérant soit en LW des appareils habités dont ils prolongeraient le rayon d'action en espace peu permissif, soit en mission indépendante sous la gestion de la fonction BMC2. Le dispositif de F2T2EA impliquerait des RC ISR furtifs et des RC maraudeurs à charges cinétiques, consommables, disposant d'une liaison permettant de leur désigner des objectifs sur coordonnées avec une capacité d'attaque terminale coordonnée autonome, délivrés par des appareils habités, par des RC gigognes, par les roquettes des forces terrestres ou encore des véhicules ou des navires.

3.4.2. Appui aérien rapproché

En matière de CAS, deux conceptions viennent à l'esprit :

- ⇒ Le RC en drone ailier de la plateforme habitée pour réaliser un appui ISR supplémentaire à la plateforme et au *Joint Terminal Attack Controller* (JTAC) permettant d'enrichir la situation tactique. On peut en ce cas envisager un MUM-T avec le JTAC avec par exemple un transfert de contrôle du drone entre ce dernier et une plateforme habitée ;
- ⇒ À plus long terme, éventuellement, un RC en mesure de réaliser l'appui-feu demandé sous l'entier contrôle du JTAC mais cela peut poser beaucoup de difficultés, en particulier l'aptitude du JTAC à contrôler ce drone sous facteur de stress dans la zone d'engagement. Le concept apparaît plus viable dans une situation de fonctionnement, certes dégradé, où les JTAC sont déployés à l'arrière en liaison avec des observateurs avancés, comme ce fut le cas lors d'*Inherent Resolve*.

3.5. Les RC dans les fonctions de « battle management »

Les RC pourraient également jouer un rôle intéressant dans la fonction BMC2, pour renforcer les AWACS, prolonger leur couverture s'ils sont forcés de se retirer devant la menace sol-air ou air-air, et accroître les capacités des NGF, voire peut-être des *Rafale* F5, qui seront employés comme nœuds de BMC2 distribués comme le prévoit le SCAF. On pourrait ainsi, comme le programme OBSS américain semble s'y consacrer, envisager une fonction de veille collaborative reposant sur un réseau de RC furtifs, employés en environnement peu permissif, dotés de capteurs IR voire radar, employés en LW à distance de ces nœuds de *battle management*. Des RC récupérables ou consommables sont envisageables en l'instance, en fonction du degré de menaces et du choix de capteurs déployés. Les RC, consommables en l'occurrence, pourraient également être employés comme relais de BMC2 au sein de salves de munitions pour coordonner leur manœuvre.

3.6. Les RC dans la fonction communications

Par ailleurs, l'État-major des Armées entend traduire dans les faits une meilleure intégration multimilieux / multichamps (M2 MC) et pour ce faire a entrepris de développer un réseau multi-senseurs / multi-effecteurs (RM2SE), en réalité une architecture SIC complète incluant non seulement l'évolution du système interarmées d'information, du niveau stratégique au niveau des PC de composante, mais aussi une meilleure fédération des SIC tactiques. L'amélioration de la connectivité entre les capteurs, centres de C2 et effecteurs des différentes composantes est évidemment une part cruciale de ce projet. Il s'agit d'être en mesure, en cas de besoin, de réaliser une connexion de bout en bout, relais entre les éléments concourant à une mission donnée. L'architecture de communications envisagées doit être hybride, combiner notamment les différentes SATCOM et les transmissions hertziennes en ligne de vue.

Comme nous l'avons vu, les RC peuvent avoir là encore un rôle à jouer par exemple pour constituer des relais de communication, voire des passerelles entre réseaux tactiques, tirant parti des outils de traductions entre réseaux hétérogènes en cours de développement. Ces relais permettraient une communication de moindre latence par rapport aux ponts SATCOM existants. Bien entendu, des drones tactiques ou de théâtre actuels, non pénétrants, peuvent tenir ce rôle mais leur faible capacité de pénétration empêche de les déployer trop près de la zone de contact, à portée des systèmes sol-air adverses. Un RC furtif, doté de communications optiques peu vulnérables, ferait dans ce contexte particulièrement sens.

Conclusions

C2, ISR, SEAD, chasse, interdiction, CAS... Comme nous venons de le décliner, les pistes d'emplois potentiels des RC dans le combat aérien futur pour recréer cette « masse abordable » dont parlent les Américains et dont les Européens ont cruellement besoin ne manquent pas. Néanmoins, de multiples défis se posent pour tirer pleinement parti du potentiel de ces systèmes.

En réalité, c'est bien la question de leur efficacité par rapport aux chasseurs habités qui se pose. Cette efficacité dépend du délicat compromis entre :

- ⇒ D'un côté, le caractère perdable que doivent conserver ces engins, qui doivent donc nécessairement afficher des coûts unitaires permettant de les produire en grandes quantités ;
- ⇒ De l'autre, les seuils de performance et de fiabilité affectant leur *design* (non seulement la conception du drone mais également les procédés de récupération) et peut-être plus encore leurs équipements (comme les moyens de communication ou encore les charges utiles) qui rendront ces RC réellement intéressants pour prolonger, compléter voire, le cas échéant, se substituer aux appareils habités.

La question de l'efficacité comparée se pose également entre les RC consommables et les munitions. Au demeurant, il nous semble à première vue que la limite paraît de plus en plus tenue entre ces concepts de RC consommables et les munitions connectées comme les *Network Collaborative & Autonomous Weapons* américaines – à condition qu'elles soient propulsées –, dont certaines ont déjà fait la démonstration d'attaques collaboratives totalement autonomes. On comprend mieux à cet égard le débat qui anime encore l'*US Air Force* aujourd'hui, dont nous rendons compte en première partie. Ce compromis est d'autant plus difficile à trouver que la menace évolue comme nous l'avons vu et qu'il convient d'anticiper la confrontation avec des IADS transformés pour survivre à la saturation face à une masse significative d'engins. On en revient ici à la nécessité de pratiquer bien plus que maintenant des « analyses de la valeur » de système de systèmes, en amont des choix programmatiques, même au besoin avec des fourchettes de coûts, ce que l'administration semble encore réticente à entreprendre.

Face à l'évolution de la menace, la conception d'emploi de ces RC doit nécessairement se mouler dans une excellente intégration M2 MC permettant d'optimiser les synergies avec les multiples autres éléments de l'appareil de force que sont les plateformes ISR et effectrices aériennes mais aussi navales et terrestres ainsi que les munitions et autres charges utiles non cinétiques. Ceci pose évidemment la question de la doctrine tactique du C2 des dispositifs mettant en œuvre ces drones, de l'évolution et de l'agilité non seulement des fonctions de chefs de patrouille, de commandement de mission et de *battle management* aériennes mais aussi de la fonction C2 à l'échelle interarmées. Il s'agit par exemple d'envisager la gestion

dynamique des transferts dans le contrôle des drones entre éléments de C2 tactiques de différentes composantes.

Sur le plan des moyens techniques, cela suppose que les *clouds* de combat – en particulier *via* des projets comme le RM2SE – soient effectivement développés comme prévu. Cela pose également la question de l'interopérabilité multinationale. On sait depuis la Guerre du Golfe que les dispositifs aériens de coalition s'accommodent mal de zones de responsabilité nationales. Ceci pose évidemment un redoutable défi de *situational awareness* mais incite aussi à considérer dès la conception de ces systèmes une forte interopérabilité entre les systèmes de systèmes SCAF, NGAD, GCAP et autres, au moins pour la déconfliction des opérations de ces drones, au mieux pour développer des liaisons de données, des outils de traduction et surtout des procédures permettant d'en partager le C2 – au moins pour certains d'entre eux – exactement comme la fonction BM le fait aujourd'hui avec les chasseurs habités.

Ensuite, si cette construction du MUM-T exploitera bien entendu de multiples technologies existantes, par exemple en matière de connectivité, elle se fonde également sur des présupposés technologiques qui restent encore à démontrer. Le plus important est probablement la maturation des techniques d'intelligence artificielle permettant d'une part l'autonomie décisionnelle de ces systèmes – mais qui n'est peut-être paradoxalement pas le plus grand défi –, d'autre part l'autonomie des systèmes de navigation et d'attaque des appareils habités censée permettre aux pilotes de se concentrer sur leurs tactiques et sur leur gestion de l'emploi de ces RC sans connaître de surcharge cognitive.

Ces différentes conditions plaident bien sûr pour un développement incrémental, débutant le plus tôt possible, en ce qui concerne tant les RC que le *cloud* de combat, afin de défricher les solutions concrètes à ces multiples défis, ce que les démonstrations déjà entreprises ou prévues tendent heureusement à indiquer.

Enfin, si un compromis de masse abordable est effectivement *in fine* trouvé sur le plan opérationnel, la transformation aura en première phase un coût non négligeable, notamment en matière de ressources humaines, qu'il s'agisse du pilotage de certains de ces systèmes de drones qui ne serait pas assuré par les pilotes embarqués, de façon plus générale, de leur maintenance, de leur préparation et de leur déploiement. Le gain en la matière se retrouvera sur le plan de la préparation opérationnelle, s'accommodant d'une place plus importante de l'entraînement numérisé et nécessitant bien moins d'heures de vol réelles. Cependant, l'ensemble du projet SCAF, quel que soit son périmètre à venir, se fera sous forte contrainte de ressources. De ce fait, il n'est pas impossible que le développement et l'acquisition d'un volume significatif de RC puissent avoir un effet d'éviction sur une fraction des volumes de NGF, réduisant plus encore la cible d'appareils habités, compliquant les plans de modernisation, avec des conséquences à gérer sur la préparation opérationnelle des pilotes, entre autres. Faire accepter un tel virage peut représenter un réel défi politique.

On le voit, la route vers le développement des *remote carriers* au sein du SCAF tel qu'envisagé dans les concepts actuels est semée d'embûches. L'arpenter n'en est pas moins nécessaire pour restaurer une puissance aérienne équilibrée, dotée de la « masse abordable » suffisante pour faire face aux défis de plus en plus durs de la conflictualité en cours et des décennies à venir.