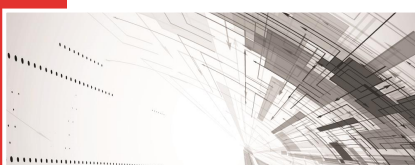


L'industrie de défense allemande, l'Etat et la crise du Covid-19 : premières conséquences

Gaëlle Winter

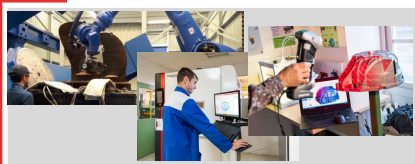
1



L'évolution de la conduite des programmes d'armement

Jean-Pierre Devaux

7



Le développement de l'impression 3D dans les Armées : une innovation de rupture ?

Alexandre Taithe, Bruno Lassalle

11



Le *Future Vertical Lift* de l'*US Army* : l'aérocombat américain de prochaine génération

Philippe Gros

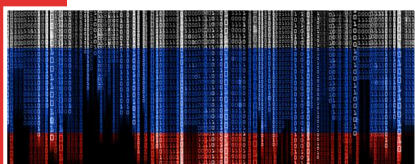
14



La « révolution » des aéronefs à décollage vertical électriques : les *taxi-volants* comme revalorisation d'une aéromobilité tactique délaissée par l'hélicoptère ?

Vincent Tourret

25



Le renouvellement de l'offre russe de systèmes terrestres

Marc Chassillan

35

FONDATION  
*pour la* RECHERCHE  
STRATÉGIQUE

**Rédacteur en chef de la revue *Défense & Industries***

Hélène Masson, maître de recherche, pôle Défense & Industries  
h.masson@frstrategie.org

**Équipe de rédaction**

Kévin Martin, chargé de recherche, pôle Défense & Industries  
Marie-France Lathuile, ingénieure de recherche en information  
Fabien Herbert, chargé de communication numérique

**[www.frstrategie.org](http://www.frstrategie.org)**



## L'industrie de défense allemande, l'Etat et la crise du Covid-19 : premières conséquences

Le Covid-19 constitue un choc multiforme pour l'économie allemande. Celle-ci a été en premier lieu touchée par la défaillance de fournisseurs étrangers affectés par le virus. Elle a ensuite dû faire face à la désorganisation des activités en raison de la présence de foyers infectieux en Allemagne et des mesures publiques préventives prises, entre le 12 et le 22 mars 2020, pour freiner la propagation de la pandémie. Les gouvernements fédéral et régionaux ont, en effet, misé sur une stratégie de dépistage et d'isolement des personnes infectées (total à la date du 12 juin 2020 : 185.674) ou en relation avec celles-ci ainsi que sur une limitation des contacts et des sorties. Ces restrictions ont été associées à une fermeture de tous les commerces dits non-essentiels. Les jardins d'enfants et établissements du primaire, secondaire et supérieur ont également été fermés. Enfin, les standards de protection au travail ont été rehaussés pour limiter les interactions physiques. Une levée des restrictions a été amorcée le 20 avril 2020. Mais la reprise des activités professionnelles de nombreux employés reste essentiellement liée à la réouverture complète des établissements périscolaires et scolaires, qui n'est pas attendue avant août-septembre, période de rentrée des classes outre-Rhin.

Ainsi, après une décennie de croissance, l'Allemagne est entrée en récession au mois de mars 2020. Le ministre fédéral de l'Economie, Peter Altmaier, table désormais, pour l'année en cours, sur un recul du produit intérieur brut de 6,3%. Il prévoit notamment une baisse des exportations (-11,6%) ainsi que de la demande intérieure (-4,5%). Malgré le recours massif au chômage partiel (10,1 millions de personnes concernées pour la période mars-avril 2020, soit quatre fois plus que lors de la crise financière et économique de 2008-2010) et aux autres mesures de sauvegarde de la trésorerie des entreprises, l'emploi marque une sensible dégradation. Le chômage s'est établi, en avril, à 5,8% de la population active, soit 2.644.000 personnes. Un retour au niveau économique d'avant crise n'est pas attendu avant 2022<sup>1</sup>.

Dans une telle conjoncture, qu'en est-il de l'industrie d'armement allemande ? Dans quelle mesure est-elle affectée par la crise sanitaire ? Le poids de la régulation étatique dans ce secteur impose également un détour par la question du soutien de l'Etat allemand aux industriels.

### Ralentissement des activités

A ce stade, les informations quant à l'ampleur de l'incidence du Covid-19 sur l'industrie de défense allemande demeurent stroboscopiques. Plusieurs éléments peuvent néanmoins, d'ores et déjà, être mis en évidence. Tout d'abord, les cas avérés d'infection semblent avoir eu un impact isolé sur le fonctionnement de la filière. A cet égard, l'exemple le plus emblématique se trouve certainement chez Rolls-Royce Power Systems (ex-MTU Friedrichshafen), dont la contamination de son dirigeant au SARS-Cov-2 a provoqué, mi-mars, la mise en quarantaine de 90 employés et précipité l'adoption de mesures prophylactiques.

Toutefois, l'adaptation des entreprises aux restrictions de contacts sociaux et aux consignes sanitaires a provoqué des bouleversements significatifs dans l'exécution des activités opérationnelles et fonctionnelles. Deux principes se sont majoritairement imposés : l'usage extensif des capacités de télétravail pour les fonctions vente et support ainsi que la mise en place de systèmes de roulement des effectifs dans les chaînes de production. A titre d'illustration, citons le site d'Immenstaad d'Airbus Defence & Space sur lequel se relayent deux équipes ou encore le chantier naval ThyssenKrupp Marine Systems (TKMS) à Kiel qui fonctionne avec trois équipes.

Cette gestion de crise induit un ralentissement des cadences de production, des activités de R&D et des prises de commande. Elle a conduit certaines entreprises à mettre à disposition une partie de leur chaîne de production pour fabriquer du matériel médical ou à cesser partiellement leurs activités, à l'instar des chantiers navals German Naval Yards à Kiel (GNYK) et Rendsburg qui ont recouru aux mesures de chômage partiel pour le mois d'avril. Dans l'ensemble, les arrêts complets et prolongés de production sont, cependant, demeurés rares et isolés. Ils sont principalement dus aux difficultés d'approvisionnement de composants en provenance de Chine, France, Espagne et Italie ou à des stratégies de préservation des finances et des stocks. Ils ont essentiellement touché le secteur de l'aéronautique (ex.: MTU Aero Engines) et de l'électronique (ex.: site Hensoldt d'Ulm qui a mis en pause sa production deux semaines durant).

Les secteurs armement terrestre<sup>2</sup> et missiles<sup>3</sup> semblent, au vu de leur communication, avoir mieux résisté : la structure de leur approvisionnement est mise en évidence comme un atout dans cette crise.

Ces réorganisations ont été facilitées par le niveau de préparation et de réactivité des entreprises, qui étaient déjà dotées de plans de continuité d'activité (« *Betrieblicher Pandemieplan* »)<sup>4</sup> ou en ont établi dès les premiers signes de la pandémie, sur la base des recommandations des autorités sanitaires locales (« *Gesundheitsämter* » relevant du niveau *Kreis*) et de l'institut Robert Koch. Ainsi, la société de construction navale Lürssen a-t-elle été en mesure d'amorcer la mise en œuvre de son concept de prévention dès le 11 mars<sup>5</sup>. A cela s'ajoute l'esprit de conciliation des partenaires sociaux (syndicats ou assemblées du personnel, « *Betriebsräte* ») qui a ouvert la voie à une acceptation rapide des réductions du temps de travail, de récupération des heures supplémentaires ou de prise de congés payés. Bien que toutes les entreprises n'adhèrent pas aux conventions collectives de branche (« *Tarifvertrag* »), signalons l'action de l'organisation syndicale IG Metall (branche métallurgie et électronique) qui a conclu dans toutes les régions allemandes une convention de crise (« *Not-Tarifvertrag* ») et s'est engagée à une obligation pacifique (« *Friedenspflicht* »). Cette dernière permet de mettre de côté les luttes salariales jusqu'au 29 janvier 2021 et garantit, dans cette période, l'absence de débrayages coordonnés et ponctuels, dits grèves d'avertissement (« *Warnstreik* »).

**Effet papillon pour les sociétés cotées en bourse**

Le ralentissement des opérations affecte les liquidités de l'ensemble des entreprises de défense, contraignant celles-ci à puiser dans leurs fonds propres, à recourir aux aides d'Etat ou à l'endettement. A cet égard, les sources de financement apparaissent, à ce stade, essentiellement restreintes aux prêts bancaires. Le marché obligataire accuse, en effet, un net recul : la baisse des cours s'est superposée à des notations parfois déjà médiocres, à l'image de celles du conglomérat ThyssenKrupp (TK)<sup>6</sup>. Le groupe Rheinmetall, qui a

particulièrement recouru à cet outil par le passé, a opté pour l'heure pour un usage plus parcimonieux, n'émettant actuellement qu'une obligation.

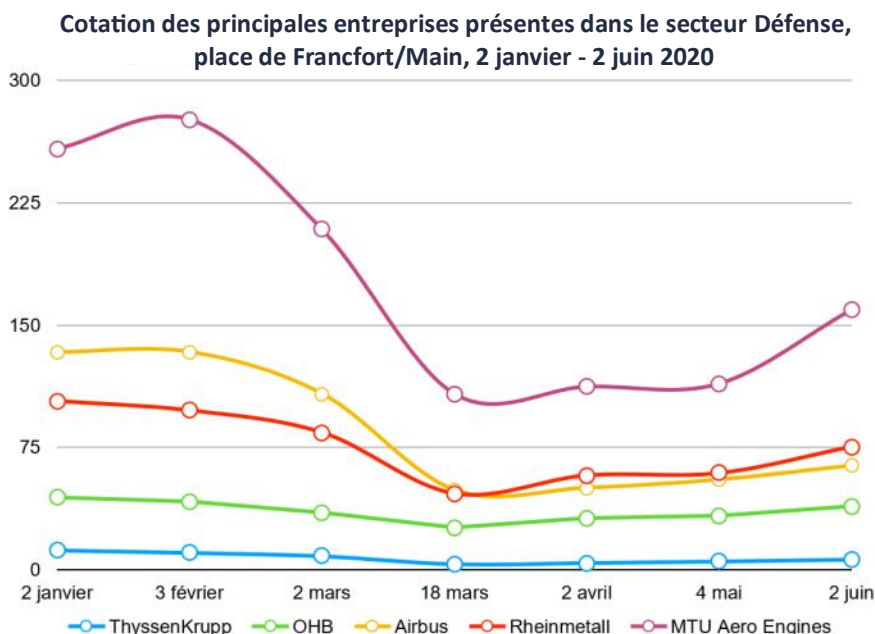
Sur le marché boursier, la situation n'est guère plus florissante. Les valorisations boursières des sociétés cotées ont fortement chuté peu après la généralisation nationale des mesures de distanciation sociale (directive *Bund-Länder* du 16 mars 2020). Elles amorcent tout juste leur rebond, comme l'illustre le graphique ci-dessous.

Dans ces circonstances, le fonds d'investissement américain KKR a décidé de repousser l'introduction en bourse de l'équipementier Hensoldt qui était prévue lors du premier semestre 2020.

**La mise en lumière de fragilités industrielles antérieures au Covid-19**

Pour autant, une imputation de l'affaiblissement de certaines entreprises à la seule pandémie serait erronée. La crise du Covid-19 se superpose, pour certains industriels, à d'autres fragilités structurelles ou conjoncturelles, désormais tout-à-fait patentes. Il convient de s'attacher à la composition des portefeuilles d'activités : de nombreux acteurs présents sur le segment défense ont leur cœur d'activités lié à des secteurs civils qui connaissent une crise durable. C'est ainsi que Rheinmetall, dont la structure repose sur un pilier *Defence* et un autre *Automotive*, se trouve pris, depuis début 2019, dans les soubresauts du secteur automobile. Il en va de même pour la maison-mère de TKMS, ThyssenKrupp (TK), aux prises avec les enjeux de transformation de l'industrie sidérurgique.

Mais, si Rheinmetall parvient à compenser la baisse de rentabilité du pôle automobile par une éclatante santé dans la défense<sup>7</sup>, la situation est plus tendue du côté de TK et de son entité TKMS. Le Covid-19 amplifie leurs déboires financiers. TKMS a, en effet, abordé l'année 2020 avec un *cash flow* brut négatif et un EBIT à zéro<sup>8</sup>. Un appui substantiel de la holding apparaît à ce stade illusoire : TK est notoirement faible en liquidités. Cette dernière a, pour cette raison, décidé, à l'automne 2019, de se séparer d'une de ses activités les plus



rentables, la division Ascenseurs (vente effective au 30 septembre 2020) et, face à la pandémie, a dû se résigner, fin avril 2020, à négocier une aide d'Etat d'un milliard d'euros. Ce déficit de marge de manœuvre financière est problématique pour TKMS. Il pourrait notamment venir fragiliser le projet de modernisation du site de Kiel, qui prévoyait des travaux d'un montant de 250 millions d'euros et l'embauche de 500 personnels supplémentaires en vue d'améliorer la compétitivité de sa division sous-marine.

La pandémie jette également une lumière crue sur la faiblesse des carnets de commande d'acteurs de l'aéronautique et de la construction navale militaires. Dans le premier cas, Airbus Defence & Space, considéré en début d'année comme « l'homme malade » d'Airbus<sup>9</sup>, ainsi que ses filiales ou sous-traitants, telle Premium Aerotec, et le motoriste MTU Aero Engines, demeurent dans l'attente de notification de contrats. L'acquisition de nouveaux avions de chasse Eurofighter au profit de la Luftwaffe, liée partiellement au renouvellement des Tornado, pourrait ne pas intervenir avant les prochaines élections fédérales allemandes (automne 2021). L'indécision continue d'entourer le développement et l'acquisition du drone MALE RPAS (Eurodrone), à l'instar de toutes les réflexions passées sur cette catégorie de systèmes d'arme (Euromale, Advanced-UAV, Talarion, notamment). L'avion de transport militaire A400M n'a, pour sa part, engrangé aucune nouvelle vente export. Le projet SCAF, développé avec la France et l'Espagne, reste, quant à lui, un horizon très lointain pour les chaînes de production.

Les perspectives d'une partie du secteur de la construction navale militaire sont tout aussi troublées. C'est particulièrement vrai pour deux des trois principaux acteurs du segment des bâtiments de surface<sup>10</sup>. S'agissant de TKMS, sa position s'est significativement érodée depuis la non-sélection de son offre portée en consortium avec Lürssen dans le cadre de l'appel d'offres pour les bâtiments multimitraisons de la Marine allemande, MKS180, en mars 2018. De plus, alors que l'entrée en service de la dernière frégate F-125 est, elle, prévue pour 2021, ce sont avant tout les contrats export qui permettent à la branche navale militaire de TK de maintenir à flot ses bureaux d'études et d'ingénierie. Notons cependant que le contrat brésilien pour des corvettes type MEKO (classe Tamandaré) ne comprend aucune activité de production en Allemagne<sup>11</sup>.

Pour ce qui concerne GNYK, l'entreprise n'a pas remporté le contrat MKS180. Il en va de même pour la construction des frégates MEKO A200 à destination de l'Égypte, en sous-traitance de TKMS, qui a été confiée au chantier Stahlbau-Nord (Groupe Rönner, Bremerhaven). Ce n'est, finalement, qu'au prix d'un rapprochement de ses actifs militaires avec ceux de Lürssen (annonce du 14 mai 2020<sup>12</sup>) que GNYK peut entrevoir une amélioration de sa situation. Il s'assure ainsi immédiatement un rôle dans le programme des MKS180 (consortium Damen et chantier Blohm&Voss, propriété de Lürssen). Par cette alliance, il peut aussi bénéficier de l'ambition de Lürssen de développer ses compétences de plateforme-intégrateur et se ménager une place de premier ordre

dans la soumission de propositions aux prochains appels d'offres allemands (ex.: pétrolier-ravitailleur, bâtiments de guerre des mines ou navires de renseignement).

### L'amortisseur étatique : un vaste train de mesures horizontales

Dès les premières semaines de la crise du Covid-19, les industriels allemands de défense ont pu avoir recours, à l'instar de tous les autres agents économiques du pays, aux politiques de stabilisation mises en place par l'Etat, que ce soit au niveau fédéral ou régional. Anticipant le risque économique lié à la pandémie, la puissance publique nationale s'est déployée rapidement pour éviter un effondrement de l'emploi et soutenir les trésoreries des entreprises.

L'Allemagne a alors réitéré sa préférence pour les outils de flexibilité interne. En amont des décisions relatives aux restrictions des contacts entre personnes, l'accès au dispositif de chômage partiel (« Kurzarbeit »), qui est considéré comme un élément clé de la bonne tenue du marché du travail dans la crise économique de 2008/2009, a été simplifié le 13 mars 2020. Il permet aux entreprises, dont 10% des effectifs sont concernés par les arrêts de travail, de demander à l'Agence fédérale pour l'Emploi (*Bundesagentur für Arbeit*) des indemnités compensatoires. La prise en charge de la baisse de salaire par le régime général d'assurance-chômage se monte à 60% pour les employés sans enfant et 67% pour les employés ayant charge d'enfants. Depuis le 15 mai 2020, les cas de longue durée font l'objet d'une revalorisation. L'allocation est relevée à 70% ou 77% à partir d'une réduction du temps de travail de plus de quatre mois et à 80% ou 87% à partir du huitième mois. Ce règlement s'applique du 1er mars au 31 décembre 2020.

Des mesures de bienveillance fiscale jusqu'à fin 2020 constituent le deuxième levier d'action publique. L'administration allemande s'engage à restituer plus rapidement les trop perçus au titre de l'année 2019, à adapter à la baisse d'activités les paiements anticipés pour l'année 2020 et à faciliter les reports d'échéances sans réclamer d'intérêts de retard. En outre, la loi sur l'aide fiscale (*Corona-Steuerhilfegesetz*), votée le 28 mai 2020, prévoit que les entreprises qui décideraient, dans le cadre de conventions collectives ou d'accords individuels, de verser une part complémentaire d'indemnités de chômage partiel d'un montant maximum de 80% de la perte de salaire soient exonérées des charges applicables aux revenus d'activités. Plus généralement, la crise actuelle pourrait déboucher sur de nouveaux allègements des taux de prélèvements obligatoires que les entreprises, par la voix du *Bundesverband der Industrie* (BDI) ou du *Bundesverband mittelständische Wirtschaft*<sup>13</sup>, présentent comme une condition essentielle du maintien du niveau d'emploi. Un tel argumentaire a déjà infusé dans les réflexions des partis de l'Union (CDU-CSU) pour le nouveau paquet conjoncturel<sup>14</sup>. Il s'inscrit également dans les revendications traditionnelles des libéraux du FDP.

Toujours pour suppléer à une crise de liquidités des entreprises et à des crédits bancaires hésitants, différents instruments financiers ont été adaptés ou créés en mars 2020 :

- ◆ Fonds de stabilisation de l'économie pour les grandes entreprises, comprenant trois volets : 1. la prise de participation publique temporaire (100 milliards d'euros), 2. des garanties d'emprunts obligataires (400 milliards d'euros), 3. le refinancement par la banque publique d'investissement (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*, KfW, 100 milliards d'euros);
- ◆ Programme spécial de garantie de l'Etat fédéral via la KfW pour des crédits-fonds de roulement accordés par les établissements bancaires, la part garantie pouvant atteindre les 90% dans le cas d'une PME et les 80% pour une entreprise de plus de 249 salariés (« *ERP-Gründerkredit-Universell* » et « *KfW-Unternehmerkredit* »). A cela s'adjoint un volet destiné aux grandes entreprises pour des financements consortiaux, avec une prise en charge des risques rehaussée;
- ◆ Des subventions non-remboursables pour les entreprises de moins de 10 salariés (*Soforthilfe*), dont l'accès s'est arrêté au 31 mai.

Face aux difficultés rencontrées par le « *Mittelstand* », le dispositif a été complété à la mi-avril 2020 par un programme supplémentaire de prêts rapides, intégralement garantis par la KfW (« *KfW-Schnellkredit* »). Dans ce contexte, le montant des encours garantis de la banque par l'Etat allemand a été relevé à 822 milliards d'euros dans la loi de finances rectificative 2020 (*Nachtragshaushaltsgesetz 2020*).

Dans une moindre mesure, l'Etat apporte son soutien aux entreprises exportatrices. Le 30 mars 2020, les ministères fédéraux de l'Economie et des Finances ont annoncé étendre, jusqu'au 31 décembre 2020, les garanties de crédit à l'exportation (« couverture Hermes ») de court terme aux pays de l'Union européenne, ainsi qu'à l'Australie, la Suisse, l'Islande, le Japon, le Canada, la Nouvelle-Zélande, la Norvège, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis. Toutefois, même si la parution des chiffres sur les exportations allemandes d'armement du premier trimestre 2020 indique une hausse de l'octroi des licences en comparaison de l'année précédente<sup>15</sup>, il est prématuré d'affirmer que l'Etat fédéral a modifié sa pratique du contrôle export sous l'effet de la crise actuelle.

### Un ministère fédéral de la Défense également mobilisé

Un discours politique spécifique à l'état de la filière Défense, à l'égal de ce qui passe dans les secteurs de la mobilité automobile et aérienne ou de la numérisation, est imperceptible. Les armées ont, elles-mêmes, ces dernières semaines avant tout cherché à valoriser leur contribution à la gestion médicale de la pandémie ou à montrer que le taux de disponibilité des matériels n'avait pas été négativement affecté par la crise sanitaire<sup>16</sup>. Pourtant, un soutien vertical, concentré entre les mains du ministère de la Défense, complète bel et bien les dispositions horizontales abondantes, précédemment évoquées. Celui-ci s'est manifesté, de manière implicite, au travers d'un attachement à la continuité des services

d'acquisition. Des contrats d'armement ont continué d'être négociés et notifiés, en dépit d'un fonctionnement administratif perturbé par les infections ou suspicions d'infection, du confinement partiel et de l'affectation temporaire de certains personnels à une cellule dédiée chargée d'acquérir des équipements de protection médicale pour le compte du ministère fédéral de la Santé. En témoignent l'attribution du marché des véhicules blindés médicaux ou la signature du contrat d'étude d'architecture système MGCS.

Le soutien s'est fait toutefois plus explicite lorsqu'en avril 2020 il est devenu possible pour les entreprises ayant contractualisé avec la Bundeswehr de demander une renégociation des jalons d'exécution des marchés publics pour les fractionner et ainsi permettre la mise en paiement des prestations déjà fournies. De plus, le Covid-19 étant considéré comme un cas de force majeure (« *Höhere Gewalt* »), les industriels en mesure de prouver le lien de causalité entre l'épidémie et leurs difficultés à exécuter un contrat ne sont plus exposés au risque de pénalités de retard et d'indemnités<sup>17</sup>.

Pour aider maîtres d'œuvre et équipementiers allemands, les services de la Bundeswehr travaillent depuis la mi-mai à identifier les contrats de services ou de matériels dont la conclusion pourrait être avancée de quelques mois. Il s'agirait là de privilégier les marchés bénéficiant aux PME et d'un montant inférieur à 25 millions d'euros (donc non soumis à un passage en commission du Budget du Bundestag)<sup>18</sup>, permettant de trouver des solutions rapides à mettre en œuvre et de renouveler l'adhésion du ministère au principe de renforcement des PME de défense<sup>19</sup>. Parallèlement, la pression au sein du ministère pour tenir les échéances de contractualisation des grands équipements ne faiblit pas. Cela concerne notamment les MKS180, 2 avions A321 destinés à la flotte gouvernementale, les radars AESA des appareils Eurofighter ainsi que des services informatiques, dont les projets de contrat seront soumis le 17 juin 2020 à la commission du Budget du Bundestag. D'autres dossiers majeurs sont également suivis au plus haut niveau. Citons le système de défense anti-aérienne (TLVS), les sous-marins 212CD, le nouveau système d'information et de communication de la *Heer*, les hélicoptères de transport lourd, les commandes supplémentaires de véhicules terrestres (blindés PUMA et Leopard, camions) ou encore la modernisation de plateformes existantes (radars des frégates F123 et F124, blindés Marder).

On comprend dès lors que, pour le ministère fédéral de la Défense, il ne s'agit pas uniquement de faire face aux retombées économiques immédiates du Covid-19, mais bien aussi d'apporter une réponse à des fragilités plus anciennes du secteur industriel de la défense. Dans cette double perspective, une enveloppe budgétaire de 10 milliards d'euros, couvrant cependant également des dépenses d'équipement dans les domaines de la sécurité intérieure et de la numérisation de l'administration, a été dégagée dans les négociations du paquet conjoncturel entre les partis de la coalition gouvernementale<sup>20</sup>. Les arbitrages entre les différentes politiques publiques pouvant bénéficier de ces crédits ne semblant pas avoir encore été réalisés, une compétition entre services de l'Etat est à anticiper.

### Conclusion : quelles suites potentielles ?

Les contours précis de la contribution Défense à la relance économique allemande ne seront pas connus avant le début de l'été. A cet égard, une tendance centrifuge se fait jour. Deux dynamiques qui s'articulent encore péniblement, l'une corporatiste, l'autre pluraliste, se sont mises en marche. D'une part, la crise actuelle constitue, pour les industriels, un catalyseur de sens. La crise leur a fourni l'opportunité d'infléchir leurs représentations en démontrant qu'ils n'étaient pas circonscrits au domaine de la sécurité militaire et qu'ils pouvaient aussi faire partie de la solution aux problématiques de sécurité humaine. Des poids lourds de l'armement, comme Rheinmetall, Hensoldt ou TKMS/Atlas Elektronik, ont largement communiqué sur leur contribution à la gestion de la pandémie. Le secteur ressort, de ce point de vue, revigoré pour demander une réévaluation de son positionnement dans le système de valeur allemand (« *Systemrelevanz* »)<sup>21</sup>, alors qu'il n'est pas explicitement reconnu comme une infrastructure critique<sup>22</sup> et qu'il estime jouir d'un soutien inférieur à ses concurrents français, italiens ou suédois<sup>23</sup>.

D'autre part, nous assistons, depuis la pandémie, à une réappropriation accrue des enjeux d'acquisition militaire par les partis politiques. La compétition partisane, déjà manifeste sur le dossier du renouvellement des avions de chasse capables d'emporter les bombes nucléaires B-61 (Tornado IDS), s'est renforcée sous l'effet des négociations pour le nouveau paquet conjoncturel et de la perspective d'une alternance politique à l'automne 2021. Des voix dans les camps social-démocrate, vert et libéral s'élèvent pour appeler à une hausse des crédits de défense plus modérée que celle envisagée dans le plan de finances 2021-2024<sup>24</sup> et à défendre des

repriorisations budgétaires. Mais, la tentation politique existe de faire aussi usage du contexte pour soutenir l'industrie de défense et ses bassins d'emploi grâce à des programmes non répertoriés dans la liste des 114 acquisitions majeures planifiées par le ministère de la Défense pour les années à venir. Le député Ingo Gädechens (CDU) plaide ainsi désormais pour acheter un nouveau lot de corvettes K130<sup>25</sup>.

Plusieurs indicateurs permettront de saisir l'issue des transactions post-Covid entre l'Etat, le secteur et les partis politiques : le soutien au déploiement à l'international des entreprises, le montant global et la ventilation des futurs budgets d'acquisition de la Bundeswehr ainsi que l'usage des instruments réglementaires mis en place ou renforcés au cours des derniers mois. Sur ce dernier point, il s'agira de suivre l'évolution de l'appropriation politico-administrative des dispositions de filtrage des investissements étrangers, renforcées en décembre 2018 et mai 2020<sup>26</sup>. Il sera également particulièrement intéressant d'observer la mise en œuvre de la loi sur une acquisition accélérée dans le domaine de la sécurité et de la défense (*Gesetz zur beschleunigten Beschaffung im Bereich der Verteidigung und Sicherheit*). La législation, entrée en vigueur le 2 avril 2020, a introduit la notion d'« intérêts essentiels de sécurité » dans l'objectif de mieux faire valoir les technologies nationales clés<sup>27</sup> et déroger plus facilement aux règles de la mise en concurrence européenne. C'est à l'aune de ces variables de haute intensité politique, voire idéologique, que pourra être esquissé l'avenir de l'industrie de défense allemande.

**GAËLLE WINTER**

Chercheuse associée, FRS

**Notes**

1. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium der Finanzen, *Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten. Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung*, 29 avril 2020, Berlin.
- Bundesagentur für Arbeit, « Der Arbeitsmarkt im April 2020. Wegen der Corona-Krise stark unter Druck », Presse-Info n° 27, 30 avril 2020, Nuremberg.
2. Nicole Schippers, « Keine Unterbrechung wegen Corona: Rüstungskonzern produziert weiter », *HNA*, 4 avril 2020.
- Rheinmetall a surtout mis en exergue les difficultés de sa branche automobile.
3. Timm Lechler, « Die Wirtschaft in Zeiten der Corona-Krise: Auswirkungen auf das Unternehmen Diehl Defence », *Südkurier*, 29 avril 2020.
4. Après les épidémies du SRAS puis du H1N1, les entreprises ont été fortement incitées par les pouvoirs publics, incitation aussi vigoureusement relayée par les syndicats et assemblées de personnel.
5. Entretien téléphonique du 4 mai 2020.
6. ThyssenKrupp, « Rating », consulté le 10 mai 2020 sur: <https://www.thyssenkrupp.com/de/investoren/anleihencreditor-relations/rating/>
7. Rheinmetall Group, « Rheinmetall im ersten Quartal 2020. Starke Entwicklung der Defence-Sparte stützt Rheinmetall in der Corona-Krise », Pressemitteilung, 8 mai 2020.
8. ThyssenKrupp, « Factsheet Marine Systems », novembre 2019.
9. Anne Bauer, « Airbus : la branche Défense et Espace en manque de visibilité », *Les Echos*, 27 avril 2020.
10. A contrario, la branche sous-marins (TKMS, site de Kiel) demeure, à court et moyen terme, relativement sereine grâce aux contrats égyptien (type 209/1400 mod), singapourien (type 218SG), israélien (Dolphin AIP) et, en cours de négociation, germano-norvégien (212CD).
11. La production sera assurée par le chantier brésilien Oceana, qui est devenu la propriété de TKMS.
12. Fr. Lürßen Werft, German Naval Yards Kiel, « Vereinbarung zur Zusammenarbeit im deutschen Marineschiffbau. In Zukunft als Team », 13 mai 2020.
13. Sabine Benzler, Manfred Brinkmann, « Jeder zweite Mittelständler fürchtet um seine Existenz », Bundesverband mittelständische Unternehmen, 11 mai 2020.
14. Jan Hildebrand, Frank Specht, « Union will Soli-Abbau auf Juli vorziehen », *Handelsblatt*, 25 mai 2020.
15. « Rüstungsindustrie steuert auf neuen Exportrekord zu », Zeit Online, 9 avril 2020.
16. Bundesministerium der Verteidigung, *Bericht zur materiellen Einsatzbereitschaft der Hauptwaffensysteme der Bundeswehr I/2020*, 9 juin 2020.
17. Entretien téléphonique avec Hans-Christoph Atzpodien, directeur du BDSV, 30 avril 2020.
18. Entretien téléphonique avec un représentant du ministère de la Défense, 20 mai 2020.
19. En avril 2016, le ministère fédéral de la Défense avait émis une stratégie qui allait en ce sens: le « Konzept des Bundesministeriums der Verteidigung zur Stärkung des wehrtechnischen Mittelstands » prévoyait notamment de faciliter aux PME de défense l'accès à ses marchés de maintien en condition opérationnelle, de mieux les prendre en considération dans les projets de recherche et développement et de mieux s'assurer de leur intégration dans les grands programmes.
20. Koalitionsausschuss, « Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken », 3 juin 2020.
21. Entretien téléphonique avec Hans-Christoph Atzpodien, directeur du BDSV, 30 avril 2020.
- Holger Schlütter, « Systemrelevanz », *MarineForum*, 5-2020, p. 3.
22. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, « Definition Kritische Infrastrukturen », 2009.
23. Entretien téléphonique avec Hans-Christoph Atzpodien, directeur du BDSV, 30 avril 2020.
24. Bundesministerium der Finanzen, « Eckwertebeschluss der Bundesregierung zum Regierungsentwurf des Bundeshaushalts 2021 und zum Finanzplan 2020 bis 2024 », mars 2020.
25. Axel Lüder, « Gädechens fordert fünf neue Korvetten K130 für die Deutsche Marine », Deutsches Maritimes Kompetenz Netz, 28 mai 2020.
26. Ces dispositions sont inscrites dans la loi allemande relative au commerce extérieur (Außenwirtschaftsgesetz) et le décret relatif aux échanges extérieurs (Außenwirtschaftsverordnung).
27. Bundesregierung (2020), *Strategiepapier der Bundesregierung zur Stärkung der Sicherheits- und Verteidigungsindustrie*, février 2020.





## L'évolution de la conduite des programmes d'armement

*La conduite des programmes d'armement fait face à des ruptures importantes qui ont amené la ministre des Armées à refonder les instructions relatives à ce processus. De nombreuses améliorations ont été apportées, dont une réduction drastique de la procédure de haut niveau aux grands principes, permettant de fait une plus grande souplesse dans la gestion. Néanmoins, le chantier n'est pas totalement abouti au regard des enjeux qu'affrontent les managers d'opérations d'armement. Des points importants, comme le lien entre programmes et innovation ou la gestion des systèmes de systèmes, sont bien peu présents alors que les programmes évoluent rapidement dans ces domaines. L'enjeu est également de dépasser le cadre national pour aboutir à une harmonisation européenne de ces processus permettant de réduire les inhomogénéités de procédure et de décision.*

L'évolution de l'instruction de management des opérations d'armement s'inscrit dans une longue lignée d'évolutions du processus de gestion des programmes d'armement au sein du ministère des Armées. La dernière édition datée de 2019, l'instruction 1618 (IM1618)<sup>1</sup>, a apporté des simplifications tout en introduisant des dispositions nouvelles dans un cadre réglementaire rénové. C'est en effet l'ensemble du corpus réglementaire sur les investissements du ministère qui a été amendé avec une évolution de l'instruction cadre relative aux opérations d'investissements (IM100)<sup>2</sup> et de celle relative aux achats<sup>3</sup> et un élargissement du corpus aux opérations de soutien et aux opérations liées à la numérisation du ministère<sup>4</sup>. Une instruction sur les opérations d'innovation est en préparation.

### Une évolution nécessaire avec des avancées fortes

Issue d'une longue lignée de textes, l'actuelle instruction de management des opérations d'armement définit les processus et l'organisation des opérations d'armement dans le cadre général proposé par l'IM100. Elle précise les responsabilités de chaque acteur dans ces projets et les procédures à respecter.

Les opérations d'armement sont le plus souvent des projets complexes qui engagent des ressources humaines, matérielles et financières sur de longues années pour développer et réaliser les systèmes d'armes, puis pour assurer leur suivi en service. Les décisions sont souvent lourdes de conséquences et nécessitent donc des structures de projets parfaitement rodées. Certaines opérations sont plus complexes et plus stratégiques que d'autres et imposent un suivi plus serré : ce sont les programmes. Parmi eux, quelques-uns sont structurants pour la défense nationale et sont donc suivis au plus haut niveau : ce sont les programmes majeurs.

Pour gérer ces derniers, la DGA a développé un outil interne dans les années 80 ; il est devenu au fur et à mesure des années une procédure partagée avec les armées destinée à harmoniser des pratiques programme très variables selon les directions techniques de la DGA. Lors de la réforme de la DGA à la fin des années 90, la procédure est devenue un processus certifiable homogène à tous les programmes qui intègre le rôle des armées au sein des programmes. Il a été étendu progressivement aux phases amont (période d'évaluation avant la décision de lancement du programme) et à la phase d'utilisation des programmes (suivi de l'emploi et des évolutions). Son extension à l'ensemble des opérations d'armement a fait évoluer l'outil technique vers un cadre réglementaire destiné à gérer les processus du ministère dans les opérations d'investissements et surtout à cadrer les responsabilités de chacun.

La partie technique de la procédure est restée (il faut gérer de manière cohérente la complexité des programmes dans la durée et imposer une homogénéité de documentation), mais son niveau de visibilité a été variable : lorsqu'il a fallu uniformiser les processus, le niveau ministériel était un bon moyen de forcer la diffusion de procédures. Cela a généré une instruction IM1514 particulièrement volumineuse et en partie inapplicable aux opérations de faible montant ou enjeu. Après une première tentative de simplification en 2005, l'instruction qui a suivi, l'IM1516, a multiplié les points de décisions et de contrôles, privilégiant une vision financière dans un contexte, il est vrai, de réductions budgétaires.

La nouvelle instruction prend acte du changement de contexte, en particulier en matière d'adaptation des programmes à l'évolution opérationnelle ou technologique, bien plus rapide qu'il y a trente ans. Elle s'appuie sur une vision capacitaire nécessaire pour prendre en compte la complexité des programmes sur la durée de vie des matériels et considérer l'enveloppe de ses composants constitutifs (équipements, mais aussi soutien, formation, entraînement, concept, etc.). L'instruction est désormais réduite aux grands principes et donc bien plus facilement applicable à l'ensemble des programmes et opérations d'armement.

Les avancées sont notables :

- ◆ La réduction du nombre de phases de 6 à 3 (préparation, réalisation, utilisation) permet de simplifier les processus et donc de les rendre plus facilement applicables à une vaste gamme d'opérations. La simplification est tout particulièrement visible dans les phases amont d'élaboration du projet avec la réduction à une seule étape de décision, le lancement du projet. Il va également dans le sens d'une harmonisation avec nos principaux partenaires.
- ◆ L'importance donnée à une vision capacitaire<sup>5</sup> du projet d'équipement et de son environnement qui confirme l'évolution menée depuis maintenant près de 20 ans dans ce domaine. Cette vision est élargie aux systèmes d'information en interface. Cette logique capacitaire reste libre de procédures, ce qui est normal s'agissant plus d'une vision future systémique du système de défense. Néanmoins, si elle devient structurante, elle devra être partagée pour faciliter la convergence des besoins avec l'industrie et nos partenaires européens.
- ◆ La volonté de limiter la documentation d'expression de besoins et d'éviter les redondances de tests forcent une plus grande cohérence des équipes intégrées. Pour le document commun de spécifications, il faudra néanmoins bien veiller à trouver le juste équilibre entre le besoin « rêvé » et le besoin « réalisable ». Ce juste équilibre devrait pouvoir se trouver dans une gestion des risques partagée et un portefeuille d'évolutions souhaitées qui vient nourrir les phases de préparation des incréments suivants.
- ◆ La mise en place de processus incrémentaux est clairement la transcription d'une réalité : les programmes d'armement sont désormais incrémentaux de fait et cette tendance s'accroît avec la numérisation et l'accélération de l'innovation. Penser le programme autour de cycles d'incrémentaux va permettre une meilleure optimisation des développements et une gestion plus maîtrisée du triangle coûts - délais - performances. Cela renforce nécessairement le travail d'architecture préalable et une priorisation forte des besoins, points justement soulignés par l'IM1618.
- ◆ La prise en compte des besoins export d'un matériel très tôt dans le processus de lancement d'un programme est primordiale pour la survie de notre modèle économique. Le programme Mirage 2000-5 avait montré que cela permettait des choix assez différents d'un programme national sans renoncement aux besoins des armées françaises,

mais avec des solutions plus flexibles. Les surcoûts sont le plus souvent largement compensés par des effets de série. Il reste que, dans le cas d'appels d'offre, cette prise en compte risque de n'intervenir que tardivement (à la notification de la réalisation) et donc ne pas avoir l'efficacité souhaitée, le besoin national ayant déjà figé une grande partie de la solution. La mention expresse dans l'appel d'offre d'une prise en compte de la dimension exportation de l'opération (ce pourrait être une variante proposée à l'offre de base) restera probablement toujours délicate à gérer.

L'évolution n'est pourtant pas complète et soulève quelques questions de fond.

### **Les systèmes de systèmes ne sont que faiblement couverts**

La notion de système de systèmes n'est pas traitée dans les grands principes que ce soit dans l'IM1618 *sur le déroulement des opérations d'armement* ou dans l'IM 2476 *portant sur la conduite des projets de système d'information et de communication*. Dans ce dernier cas, c'est plus surprenant s'agissant d'opérations relatives à la numérisation. Chacune des deux instructions renvoie à l'autre, chacune devant s'inspirer de l'autre. Or, aujourd'hui, la prédominance de l'informatique dans nos équipements, leur dépendance à des réseaux d'informations et à des banques de données externes génèrent une forte intégration entre les deux mondes. De plus, des problématiques particulières apparaissent aux interfaces telles que la navigabilité d'un appareil fonctionnant en cloud sur la base d'algorithmes évolutifs. L'accroissement de la complexité de nos systèmes d'armes et de leur environnement est appréhendé mais non traité sur le fond.

Or, ces opérations nécessitent une gestion simultanée des trois phases d'un programme et des outils de décision un peu différents des outils traditionnels d'un programme d'armement. Certes, les principes s'appliquent, mais dans le cadre d'une gestion fonctionnelle et incrémentale d'un ensemble d'opérations d'armement. Les logiques de management peuvent différer. Ainsi, la gestion financière mélange une gestion de flux avec de la gestion de devis dans un amalgame plutôt géré en flux. La gestion des performances se focalisera plus sur les goulets d'étranglement qui réduisent les performances fonctionnelles d'ensemble que sur les performances pures des éléments constitutifs. La qualification et l'implémentation sont également plus complexes.

Côté achat, les conditions de remise en cause d'une maîtrise d'œuvre de système de systèmes sont compliquées. Une maîtrise d'œuvre qui travaille sur un programme d'équipement reste dans un cadre de durée et de périmètre limité qui permet d'éviter la remise en cause au long du programme. Cette dernière peut toutefois intervenir lors des changements de stade. Dans le cas des systèmes de systèmes, cela devient particulièrement problématique compte tenu de l'imbrication des acteurs, de la pérennité du système constitué et de son périmètre variable. Quoique souvent envisagé, il est particulièrement difficile de refaire des appels d'offre globaux après l'appel d'offre initial : le sortant garde en effet

la responsabilité de conception de l'architecture initiale, souvent contraignante et conserve de fait un avantage considérable, difficile à compenser. La compétition se limite donc assez vite au niveau inférieur avec la nécessité d'une règle absolue de séparation entre l'architecte maître d'œuvre (rarement remis en cause) et les fournisseurs de composants constitutifs (en compétition quand cela est possible).

Au-delà de SCCOA<sup>6</sup> qui en fut l'un des premiers prototypes, de nombreux programmes majeurs relèvent ou vont relever de cette logique : SCORPION, SCAF, SIA, ARTEMIS<sup>7</sup>. Ces systèmes de systèmes vont devoir utiliser l'ensemble du corpus documentaire, les opérations d'armement pour les éléments et leurs incréments, les opérations de numérisation pour la circulation de l'information, le soutien pour l'utilisation et l'innovation pour faire face aux évolutions de contexte et de technologie. Il est donc souhaitable d'avoir une réflexion claire sur le management de ce niveau, notamment en termes de gouvernance, de processus et de relations avec les fournisseurs.

### **Une innovation souhaitée mais peu intégrée au corpus**

L'innovation est encouragée et évoquée dans le cadre de l'instruction 1618 sous la forme d'un renvoi vers une instruction non encore parue. L'innovation est liée à la nécessaire réflexion sur les programmes incrémentaux, mais il faudrait aller plus loin dans l'instruction relative aux opérations d'armement.

Il n'y a, en particulier, aucune mention de la nécessaire expérimentation des innovations. En dehors du monde de la défense, émergent des processus mixant développement agile et développement en cascade<sup>8</sup> qui nécessitent de repenser le management des projets. La gestion agile impose, en effet, la mise en place d'une logique d'expérimentations d'innovations et de démonstrateurs régulières destinée à recueillir l'avis de l'utilisateur et à faire converger progressivement l'expression de besoin vers le produit. Elle doit être structurée par des processus décisionnels particuliers et impose un changement notable du niveau d'acceptation de l'échec.

Il est probable que des fonctions entières des systèmes seront développées en mode agile, avec des possibilités de choix ou de paramétrage laissées à l'utilisateur. Là encore, les processus de gestion de programme font défaut. Des expériences comme l'organisation d'appui à l'innovation du programme de guerre des mines navale menée par Naval group et ECA seraient intéressantes à mettre en valeur. Elles visent en effet à développer, dans un environnement adapté à l'innovation, des solutions qui seront intégrées au système livré, grâce aux multiples points de rendez-vous prévus avec le programme en phase de réalisation ou en phase d'utilisation. L'approche incrémentale, la colocalisation des structures innovation et programmes et le travail en plateaux entre utilisateurs et industriels favorisent la démarche et sa rapidité.

### **Une problématique européenne en suspens**

Comme les versions précédentes, l'instruction 1618 affiche une volonté de considérer la coopération européenne comme une option potentielle dans les phases d'initialisation de l'opération d'armement.

Cela écrit, le texte reste ensuite flou sur les procédures de décision. Certes, chaque programme en coopération génère sa propre structure et ses propres procédures, mais finalement clarifier les dispositifs français pour de tels programmes aurait été utile. A titre d'exemple, on peut considérer l'exigence d'unicité des spécifications. Au-delà de la difficulté accrue d'arriver à cette exigence, compte tenu de la multiplication des acteurs, elle pourrait contrevenir à des processus et organisation chez nos partenaires (l'Allemagne ou la Suède, par exemple, où l'expression du besoin et l'exécution sont strictement séparées). Les principes du noyau dur<sup>9</sup> ou du « meilleur athlète »<sup>10</sup> auraient dû figurer au titre de nos exigences fondamentales de gestion d'un projet européen.

La réalité est qu'il n'y a pas aujourd'hui de convergence européenne dans les processus de gestion des programmes d'armement et que nulle part n'apparaît la gestion en propre des programmes en coopération. Ceci amène des divergences dans les processus de prises de décisions, de suivi et de contrôle. L'exemple de l'Allemagne est intéressant de ce point de vue : le contrôle strict des programmes par le parlement allemand n'a pas réellement d'équivalent dans les autres pays où ce contrôle est plus lointain<sup>11</sup> avec une forte délégation à l'exécutif.

Au-delà donc de la volonté politique affichée, la volonté commune de faire des programmes en coopération devrait se traduire par une harmonisation des processus et des niveaux de décision et de suivi politique. On retrouve là un des champs d'action traditionnel des instances européennes. Finalement, tout comme l'harmonisation du code des marchés publics était nécessaire à l'émergence d'un marché européen de la commande publique, un texte commun sur la gestion des programmes en coopération permettrait de faciliter l'harmonisation et de clarifier rapidement les procédures dans chaque pays.

Les principes de management proposés par la France sont un bon axe de départ, mais amènent très vite à s'interroger sur leur applicabilité aux programmes en coopération. En particulier, le besoin d'une organisation en équipe intégrée avec du travail en plateau entre opérationnels, agence d'acquisition et industrie nécessite de bien s'entendre en amont sur les modes de compétition à mener : ces phases peuvent s'avérer lourdes pour les Etats.

### **L'ouverture au financement industriel des programmes**

La volonté de faire financer les programmes par l'industrie n'est pas une idée nouvelle (après tout, le Rafale a commencé sur cette base) mais il n'avait pas fait son apparition dans les instructions de management de programmes jusqu'à présent. L'ajout fait dans une IM1618 réduite aux grands principes ne rend cette ouverture que plus forte.

Traditionnellement, un tel financement est lié aux retours attendus par l'industrie sur l'export ou à la diffusion de la technologie dans le domaine dual, mais mettre l'industrie dans le pool de financeurs à un niveau important aboutit nécessairement à lui donner voix au chapitre sur les choix et renforce en outre le poids des besoins exports par rapport aux besoins nationaux. Dans un contexte où les besoins du marché de la zone Pacifique deviennent prégnants à l'exportation, cela peut conduire à des dérives sévères de performances compte tenu du contexte<sup>12</sup>. Ces dérives nécessairement coûteuses ne seront probablement pas acceptables au regard du besoin de nos théâtres traditionnels.

Lorsque les intérêts sont divergents (et ce peut être le cas, par exemple, si les technologies de la version nationale sont jugées non exportables ou que les performances ou scénarios export dépassent nos exigences de manière notable), des modalités particulières de financement des écarts doivent être trouvées. Il est alors pleinement nécessaire d'avoir un accord de principe sur ce qui est commun et exportable, donc cofinancé, et ce qui ne l'est pas, donc *a priori*, pleinement financé par l'Etat ou par l'industrie seule. La pression sur les délais sera identique : si la nature du contrat export impose des pénalités fortes, le report de programme sur des problématiques budgétaires pourrait devenir particulièrement onéreux pour les Etats.

L'extension d'une telle participation aux programmes en coopération peut tout à fait s'imaginer mais uniquement avec des garanties sur l'exportabilité que beaucoup de pays sont incapables de donner car relevant d'instances politiques soumises aux aléas électoraux.

Le travail réalisé par le ministère des Armées pour refondre le corpus des instructions de gestion des opérations d'investissement montre la très grande maturité atteinte par le ministère dans son organisation et sa gestion des projets. C'est néanmoins un chantier permanent où l'innovation et l'anticipation doivent également avoir leur place. Il faudra donc poursuivre le chantier en traitant les points faibles de ce nouveau corpus à savoir le management des systèmes de systèmes, la gestion de l'innovation dans les phases réalisation et utilisation et l'intégration des industriels aux solutions. Il est indispensable également de lancer rapidement une réflexion européenne à 27 sur le sujet afin de faciliter les convergences procédurales et organisationnelles.

**JEAN-PIERRE DEVAUX**  
Inovstra

## Notes

1. Instruction N° 1618/ARM/CAB du 15 février 2019 *sur le déroulement des opérations d'armement*.
2. Instruction N° 100/ARM/CAB du 15 février 2019 *relative aux opérations d'investissement du ministère des Armées*. C'est en quelque sorte la note chapeau qui définit le cadre ministériel général, en particulier le cadre général des opérations, le processus de décision et de suivi ministériel et les responsabilités de chacun.
3. Instruction N° 596/ARM/CAB/CM31 du 28 janvier 2019 *relative à la politique d'achat du ministère des Armées*.
4. Instruction N° 2476/ARM/CAB/CC6 du 29 avril 2019 *portant sur la conduite des projets de système d'information et de communication*.
5. La vision capacitaire vise à regarder l'opération comme un élément d'un tout qui doit rester cohérent : la capacité est un ensemble cohérent de matériels servis par des hommes formés et entraînés selon un concept d'emploi et une organisation, et soutenus par des moyens permettant de délivrer dans la durée un effet militaire déterminé. Les anglo-saxons y ajoutent souvent la notion d'interface cohérente avec les systèmes d'information.
6. SCCOA : Système de commandement et contrôle des opérations aériennes.
7. SCORPION : Synergie du Contact Renforcé par la Polyvalence et l'Info valorisation - SCAF : système de combat aérien futur – SIA : système d'information des armées – ARTEMIS : Architecture de traitement et d'exploitation massive de l'information multi-sources.
8. Le processus de gestion de projet en cascade est un processus de projet classique où on enchaîne spécifications – réalisation – qualification dans un enchaînement séquentiel. Il est particulièrement adapté à des projets complexes soumis à des réglementations drastiques. Les méthodes agiles sont des méthodes incrémentales et itératives qui visent à rapidement fournir un produit et à l'améliorer au fur et à mesure de sa confrontation avec le client. Il est particulièrement adapté aux programmes logiciels, mais s'étend désormais assez largement en dehors de ce monde.
9. Démarrer un programme sur la base d'un nombre limité de nations qui cadre ce programme en agrégeant ensuite progressivement les nations intéressées.
10. Choisir dans une coopération les industriels les plus compétents dans les domaines requis.
11. La commission de la défense du Bundestag approuve le budget, mais aussi chaque projet d'approvisionnement d'une importance particulière en matière de sécurité et de politique militaire ainsi que tous les marchés publics d'au moins 25 millions d'euros, indépendamment de la loi budgétaire. Ces projets d'approvisionnement, même s'ils sont prévus dans la Loi sur le budget, ne seront pas mis en œuvre sans l'approbation du Comité de la défense (site internet du Bundestag). C'est de fait l'équivalent du Comité ministériel d'investissement français placé lui au sein de l'exécutif.
12. Le théâtre du Pacifique et de la mer de Chine impose en effet des contraintes d'élongation fortes dans tous les domaines qui poussent au maximum les performances de rayon d'action des plateformes ou de portée des armements ou des communications.



©Ministère des Armées

## Le développement de l'impression 3D dans les Armées : une innovation de rupture ?

Après la valorisation massive des énergies (fossiles, hydraulique), la mécanisation des tâches ou l'informatique, la fabrication additive porte les ferments d'une nouvelle révolution industrielle et constitue une innovation de rupture, dont les effets seront durables et structurants. Le succès des technologies de l'impression 3D tend à rapprocher fabrication des objets et utilisateurs, et esquisse une possible relocalisation des productions, dont l'actualité sanitaire montre la pertinence.

La fabrication additive regroupe l'ensemble des techniques ou procédés permettant de fabriquer un objet en agglomérant des couches de matières (polymères, métalliques...) à partir d'un modèle numérique (CAO). L'impression 3D s'impose progressivement dans de nombreux domaines et son développement s'accélère, en particulier, dans les secteurs de la santé, de l'industrie (y compris aéronautique) et de la construction, tout en intéressant de plus en plus fortement le grand public à travers des objets de consommation courante. Outre le développement des services de fabrication en ligne et le prototypage, les technologies 3D sont utilisées de manière croissante pour la production en série de pièces.

Le cabinet Deloitte estimait en 2019 la croissance du chiffre d'affaires de ce secteur à 12,5% par an, un taux qui a doublé depuis 2015<sup>1</sup>. Des études plus récentes<sup>2</sup> projettent une croissance annuelle de ce marché de 24% au cours des cinq prochaines années et son doublement tous les trois ans (pour atteindre un volume de 35 milliards de dollars en 2024).

Pour les Armées, la fabrication additive présente un potentiel de flexibilité considérable, dont la portée est limitée à ce stade par la capacité à imaginer les usages, la taille des pièces, la variété des matériaux et la qualification des processus. Mais les progrès technologiques sont très rapides dans ce secteur et des professionnels<sup>3</sup> font état d'innovations, par exemple, dans la fabrication additive métallique, rendant possible techniquement ce qu'ils pensaient inenvisageable seulement quelques mois plus tôt. La chaîne 3D (conception, fabrication, post-traitement) permet de mettre en œuvre des produits à la demande, soit à petite échelle

(pièces détachées...), soit à grande échelle (développement de nouveaux systèmes, généralisation d'une modification...), en rapprochant les lieux de production et d'expression de la demande.

### Pourquoi recourir à la fabrication additive ?

Dans les domaines où la fabrication additive apporte une capacité inédite sans équivalent comme, par exemple, la production de peau, l'innovation s'impose d'elle-même.

Dans les cas où la fabrication additive entre en concurrence avec d'autres procédés de fabrication (usinage, moulage, formage, assemblage), plusieurs principes peuvent guider la diffusion de l'impression 3D, en particulier pour les Armées. Tout d'abord, la logique inhérente à la fabrication additive ne réside pas dans la reproduction de pratiques ou de pièces existantes, mais dans leur re-conception et leur optimisation. Cette technologie permet des gains de poids et de performance, améliore la géométrie de pièces complexes et facilite leur assemblage et peut à la fois raccourcir les délais de fabrication et en diminuer les coûts. La copie à l'identique peut être choisie pour éviter la re-conception et simplifier la qualification de la pièce, pour la produire au plus vite. Ensuite, la fabrication additive est associée à une idée de rapidité et de flexibilité, pour pallier l'obsolescence de matériels, ou des délais et des coûts de production qui seraient exorbitants avec d'autres procédés (surtout pour de petites quantités).

### L'impression 3D en opérations extérieures

En opérations extérieures, la capacité à durer, ou l'autonomie de manière plus générale, sont des propriétés et des qualités particulièrement recherchées par les forces pour l'engagement opérationnel ou le stationnement. Plusieurs axes d'effort s'inscrivent dans cette direction, comme l'allègement des flux logistiques, sources de vulnérabilités, pour restreindre l'exposition d'hommes à des menaces, tout en renforçant l'autonomie des forces déployées. Un autre effet recherché concerne le maintien en condition opérationnelle (MCO) pour conférer une meilleure disponibilité des matériels, dont la maintenance peut devenir critique face à la

carence de pièces de rechange ou à des délais d'approvisionnement excessivement longs. Au-delà de ces deux exemples, la fabrication additive révèle un potentiel considérable, sans doute dans tous les domaines d'opérations militaires, incluant même des aspects médicaux (peaux, instruments...), les infrastructures ou l'adaptation des munitions à des effets recherchés. Ces technologies peuvent aussi servir à modifier, à renforcer, à personnaliser ou à adapter des matériels existants dans une logique d'efficacité ou d'ergonomie.

Sans doute ne faut-il pas attendre, au moins à moyen terme, une réduction significative des volumes de flux logistiques par l'incorporation d'imprimantes 3D en opérations extérieures. Le dépôt de matières se limite au mieux à quelques kilogrammes par heure pour les plastiques, soit deux à cinq tonnes par mois par machine et, au maximum, à une centaine de kilos par mois pour de la fabrication additive métallique. C'est bien la réduction des temps d'indisponibilité des équipements, leur amélioration ou leur adaptation qui constituent les atouts de la fabrication additive en opérations extérieures.

### Imaginer et expérimenter les possibilités de la fabrication additive

Les retours d'expérience de l'*US Marine Corps* (USMC) en matière de fabrication additive révèlent la nécessité de se familiariser avec les possibilités offertes par ces technologies, ce qui passe par deux étapes concomitantes. Tout d'abord, « se faire à l'esprit » de ce potentiel, comme en témoigne la formation obligatoire d'une semaine à l'impression 3D des officiers généraux nouvellement promus de l'USMC. La sensibilisation de la chaîne hiérarchique permettra une meilleure intégration de ce potentiel et d'imaginer ces nouveaux usages. La deuxième est l'expérimentation dans des domaines variés, à l'échelle du terrain, à l'image du déploiement dans chaque régiment de l'USMC d'une capacité de fabrication additive polymère et, pour cinq d'entre eux, métallique. « Se faire la main » complète ainsi l'étape « se faire à l'esprit ».

Ce double besoin d'imaginer et d'expérimenter se retrouve dans les démonstrations menées dans la bande saharosahélienne par la SIMMT (Structure intégrée du maintien en condition opérationnelle des matériels terrestres) pour le MCO de matériels terrestres (MCO-T) et dans celles embarquées dans des bâtiments de la Marine nationale, avec Naval Group.

### Des expérimentations en cours

La SIMMT mène deux expérimentations de fabrication additive plastique à Gao, depuis mai 2019, et N'Djamena, depuis novembre 2019, qui vont permettre de comparer les intérêts et contraintes de déploiement en opérations extérieures de trois technologies différentes : stéréolithographie, dépôt de matière par fil fondu, frittage laser sur lit de poudre. Cette dernière est d'un emploi plus contraignant, mais elle permet d'obtenir des propriétés mécaniques variées, en fonction des différentes poudres utilisées. Des poudres techniques permettent d'envisager des pièces composites d'une résistance

analogue ou supérieure à certains métaux comme l'aluminium. La stéréolithographie et le dépôt de matière par fil fondu ont pour arguments une mise en œuvre simple et un faible coût à la fois de la machine et de la matière première. Sans doute y aura-t-il un intérêt à maintenir une pratique de ces technologies, ne serait-ce que pour se familiariser avec leur potentiel, plutôt que se concentrer sur l'une d'entre elles.

Plus de 300 pièces ont été fabriquées à Gao, dont un tiers était destiné au MCO-T. Les deux autres tiers répondent à des demandes d'autres services (SSA...) ou à des besoins d'opportunité. La formation et la constance du niveau de compétence des équipes opérant les imprimantes sont déterminantes dans la réussite d'un tel déploiement.

De plus, la SIMMT a initié une *blockchain*, dont le principe est d'instaurer une relation de confiance et de sécurité entre les acteurs d'une chaîne 3D, de l'industriel aux utilisateurs. Ce principe a, entre autres, pour but de garantir à l'industriel qu'il est bien rémunéré lors de l'impression d'une pièce relevant de sa conception. Autre objectif, la *blockchain* sert à garantir l'intégrité du fichier 3D et à assurer que le fichier imprimé est bien celui fourni par l'industriel ou validé par la SIMMT.

Naval Group a déployé une capacité de fabrication additive polymère par fil fondu sur des bâtiments de la classe Mistral, le *Dixmude*, puis le *Tonnerre*. Au cours de l'expérimentation sur le *Dixmude*, qui a duré 145 jours, 150 pièces ont été réalisées, dans le cadre d'une trentaine de projets distincts. Près de 60% étaient des pièces d'emménagement et d'agrément, et pour une vingtaine de pourcents des pièces techniques. Ces expérimentations ont montré la capacité à produire des pièces 3D dans un bâtiment en opération. Depuis février 2019, le porte-avions *Charles de Gaulle* est également équipé d'une imprimante 3D polymère par dépôt de fil fondu. Un Rafale de la Marine nationale a volé au début de l'année 2020 avec une pièce imprimée à bord du porte-avions (un boîtier de commande de vidange des réservoirs de carburant).

Entre 2017 et 2019, Naval Group a réalisé plus de 1.000 pièces, fabriquées par une dizaine d'imprimantes possédées en propre par l'industriel (technologie dépôt de fil fondu). Le groupe a également fabriqué, en collaboration avec l'École Centrale de Nantes, la pale la plus grande jamais réalisée en fabrication additive, par la technologie DED par dépôt de fil métallique. Ce démonstrateur est considéré comme très prometteur, permettant d'envisager la réalisation de propulseurs creux. Construite par une imprimante 3D, cette pièce sera également susceptible d'être réparée avec les mêmes technologies.

### La nécessité d'innovations administratives

Pour éviter que chaque expérimentation ou initiative se retrouve isolée face à des enjeux transversaux de gestion des fichiers 3D, de propriété intellectuelle et de réglementation, l'USMC a opté pour un modèle innovant, l'*Advanced Manufacturing Operations Cell* (AMOC). Créée par le *Marine Corps Systems Command* (MARCOSYSCOM), l'AMOC traite des

questions de certification, des politiques d'emploi de la fabrication 3D et propose une assistance permanente (24h/7j) pour les personnels du *Marine Corps* opérant des capacités d'impression 3D. Pour les articles présentant un risque élevé pour les personnes ou la bonne exécution de la mission, l'impression de la pièce est subordonnée à l'autorisation de l'AMOC. L'usage est alors temporaire, à caractère urgent et opérationnel<sup>4</sup>. Dans ce cas, l'AMOC semble agir à la fois comme autorité technique et comme autorité d'emploi (sur demande préalable du chef de corps), dans le sens où elle endosse la responsabilité juridique reposant sur un chef de corps quand ce dernier décide d'aller au-delà des qualifications techniques. Il s'agit d'une innovation à la fois administrative, technique (pour la qualification) et opérationnelle, de nature à accélérer l'introduction de la fabrication additive en opérations extérieures.

Il apparaît sans doute prématuré d'esquisser une future architecture du soutien où la fabrication additive serait beaucoup plus présente et de définir ce qui devra être fabriqué sur le théâtre et ce qui sera imprimé sur le territoire national, par exemple, dans des pools de fabrication additive. Tant que ces technologies vont s'appliquer à des matériels non conçus pour être maintenus, entre autres, avec de la fabrication additive, on peut imaginer une période transitoire pendant laquelle la fabrication additive répondra à des besoins d'opportunité sur le théâtre et où des fonctions nouvelles seront consolidées (comme la réparation).

### Intégrer la fabrication additive dans un programme d'équipement ?

Les limites rencontrées, techniques mais aussi de qualification et de certification, proviennent du fait que la fabrication additive est appliquée à des équipements qui n'ont pas été conçus pour être maintenus, au moins en partie, avec cette technologie.

Un accélérateur de la diffusion de la fabrication additive consiste à intégrer ces technologies dans des programmes d'équipement. Cet objectif pourrait se concrétiser, par exemple, par la fixation d'un seuil de pièces devant être compatibles avec la fabrication additive, que ce soit en polymère ou en métal. Non pas que l'industriel soit obligé de fabriquer ces pièces en ayant recours à l'impression 3D, mais que la pièce soit au moins conçue et optimisée pour pouvoir l'être. Au regard des évolutions très rapides des technologies (machines, matériaux...), il est encore difficile de spécifier et d'imposer à un industriel un processus de fabrication particulier au regard de la durée de vie d'un matériel terrestre.

Ces axes d'action potentiels ne signifient pas que les Armées ont vocation à se substituer à l'industriel ou à transformer une base avancée ou une BSIA (Base de soutien interarmées) en un nouveau site industriel. De même, les pièces ne sont pas toutes destinées à être réalisées sur le théâtre d'une opération. Mais il s'agit de permettre davantage de flexibilité dans la maintenance. L'architecture du soutien se fait dès la conception d'un programme d'armement et la fabrication additive doit y être intégrée au même stade.

Ces changements impliquent un vaste travail avec les industriels qui n'ont pas tous pris la mesure des apports de cette technologie et sont réticents à l'investir tant que des problématiques financières, juridiques et de confidentialité (protection des fichiers) ne sont pas résolues.

**ALEXANDRE TAITHE**  
Chargé de recherche, FRS

**BRUNO LASSALLE**  
Chercheur associé, FRS

### Notes

1. DELOITTE, *Deloitte Insight. Technology, Media, and Communication Predictions 2019*, 2019, 112 p., <https://www.deloitte.co.uk/tmtpredictions/predictions/3d-printing/>
2. SmartTech Analysis, *Market Opportunities for Additive Manufacturing in the General Industry and Tooling Sector-2020-2029*, 2 March 2020, <https://www.smartechanalysis.com/reports/market-opportunities-for-additive-manufacturing-in-the-general-industry-and-tooling-sector-2020-2029/> et 3D Natives, « Les tendances de la fabrication additive en 2020 : 3D Hubs donne ses prévisions », 4 février 2020, <https://www.3dnatives.com/tendances-3d-hubs-impression-3d-04022020/>
3. Entretiens réalisés en 2019 dans le cadre d'une étude réalisée par la FRS pour la Direction générale de l'Armement.
4. Présentation de AddUp (Alexander Beuque) du 24 octobre 2019 (Agence de l'Innovation de Défense).



## Le Future Vertical Lift de l'US Army : l'aérocombat américain de prochaine génération

Le *Future Vertical Lift* (FVL) désigne l'ensemble des capacités futures d'aérocombat des forces américaines. Pour l'*US Army Aviation* (AA), qui en est la principale maîtresse d'œuvre, l'enjeu est de taille puisqu'il s'agit de remplacer partiellement l'ensemble de ses flottes actuelles de drones – elles relèvent de ses compétences au sein de l'*Army* – et d'hélicoptères dont la conception remonte à la guerre froide : hélicoptères de manœuvre UH-60 Blackhawk, de reconnaissance et d'attaque AH-64E Apache puis, ultérieurement, hélicoptères de transport lourd (HTL) CH-47 Chinook. Le FVL constitue donc une vraie rupture et se place parmi les priorités capacitaires de l'*Army* pour pouvoir commencer à contribuer, dans une décennie, aux opérations multidomaines en mesure de faire pièce aux systèmes de déni d'accès et d'interdiction de zone (A2/AD) des compétiteurs russes et chinois.

Le FVL ne se présente pas comme une simple juxtaposition de nouvelles plateformes, en l'occurrence le *Future Attack Reconnaissance Aircraft* (FARA), le *Future Long Range Assault Aircraft* (FLRAA) et les *Future Unmanned Aircraft Systems* (FUAS), mais bien comme un « système de systèmes » cohérent, incluant aussi des armements, des capteurs et des avioniques conçues selon une architecture ouverte modulaire (MOSA) commune. Les études de coût semblent montrer que cette vaste entreprise pourrait rester financièrement abordable au regard du niveau de dépenses déjà consenties par l'*Army* pour son aviation. Le FVL constitue enfin un enjeu industriel majeur pour la BITD américaine dont il va transformer les procédés et la physionomie. Cependant, les choix programmatiques restant à faire, les marges financières disponibles, la criticité et la pertinence de l'entreprise, tant stratégiques qu'opérationnelles, nourrissent bien des incertitudes sur la forme que prendra en réalité le FVL.

### Les « Capability Set » interarmées du Future Vertical Lift

Les capacités du FVL ne concernent en soi pas uniquement l'*US Army* même si elle assurera l'essentiel de leurs mises en œuvre. Elles ont été génériquement déclinées en 2013, par l'état-major interarmées américain (*Joint Staff*), en plusieurs

ensembles capacitaires (*capability set*, CS) graduant les grands types de plateformes envisagés :

- ◆ CS1 : plateforme légère de reconnaissance, d'attaque armée, d'action directe des forces spéciales (etc.). Ce serait donc l'équivalent de notre hélicoptère interarmées léger ;
- ◆ CS2 : plateforme médium d'attaque, en mesure également de réaliser des missions d'évacuation de ressortissants (RESEVAC), de lutte anti-sous-marine (ASM), de recherche et sauvetage au combat (RESCO), etc. ;
- ◆ CS3 : plateforme médium de lutte antimine, d'assaut aéromobile et amphibie, de MEDEVAC, de soutien logistique, etc. ;
- ◆ CS4 : plateforme médium plus importante privilégiant le MEDEVAC, l'assaut aéromobile et le soutien ;
- ◆ CS5 : plateforme lourde pour les mêmes missions<sup>1</sup>.

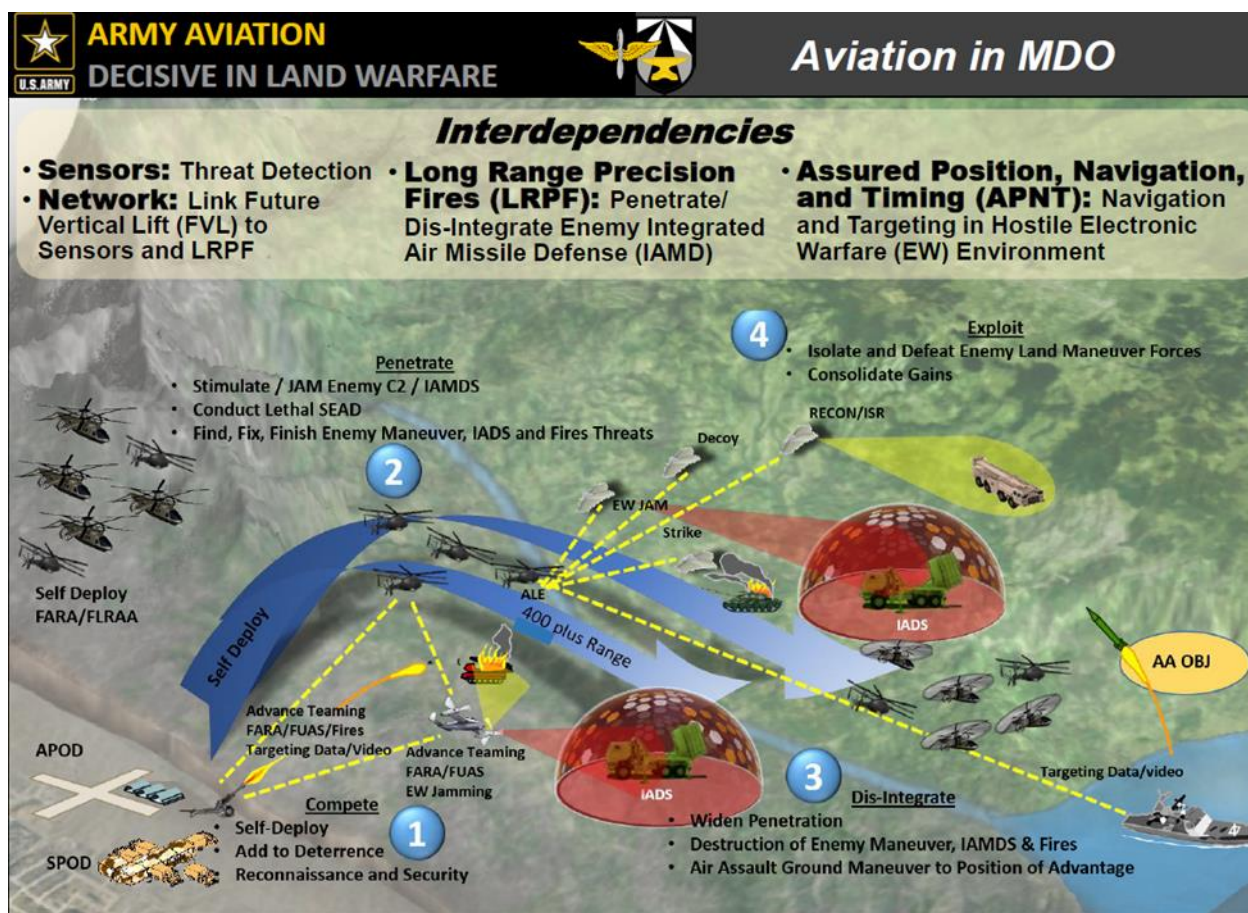
### Le FVL de l'Army dans les opérations multidomaines

Le développement du FVL au sein de l'*Army Aviation* s'inscrit depuis deux ans dans la réalisation du concept de *Multi-Domain Operations* (MDO). Rappelons que MDO est la réponse de l'*Army* aux capacités russes et chinoises de déni d'accès et d'interdiction de zone (A2/AD) qui contestent la supériorité américaine dans l'ensemble des domaines de lutte (terre, air, mer, cyber, espace). Le concept MDO mise sur la synergie des opérations de l'ensemble des composants et des systèmes d'arme, sur leur aptitude à créer des fenêtres de supériorité par la convergence des effets dans un ou plusieurs de ces domaines puis à exploiter ces fenêtres pour désarticuler le dispositif A2/AD adverse. Cette transcription élargie de la logique de la manœuvre interarmes est donc un concept de portée clairement interarmées, que l'*Army* a d'ailleurs élaboré avec l'appui des *Marines* et de l'*Air Force*.

Devant être déployés rapidement, avec une faible empreinte, les systèmes FVL doivent jouer un rôle de premier plan dans cette conception. En période permanente de compétition, ils contribuent à la dissuasion. En cas de conflit, les



## L'aviation de l'Army dans le concept d'opérations multidomaines



Source : COL Mike Best, Aviation and MDO Perspective, PEO Aviation Industry Day, 12 February 2020

systèmes FVL, combinant appareils habités, drones et munitions maraudeuses, pénètrent dans le dispositif de défense adverse utilisant leur capacité d'attaque en conjonction avec les feux dans la grande profondeur qu'ils éclairent mais aussi en réalisant des assauts aéromobiles, lancés depuis des distances opératives. Ils s'attaquent ainsi aux deux capacités clés adverses : son système intégré de défense anti-aérienne (IADS) et son propre système de feux dans la profondeur. Une fois l'IADS adverse « fracturé », les capacités FVL contribuent à disloquer le dispositif adverse en participant à des manœuvres aéroterrestres de plus grande ampleur et en fournissant de l'évaluation des dommages (BDA) réalisés par les frappes<sup>2</sup>.

### La stratégie capacitaire incrémentale vers le FVL

Pour réaliser ces MDO à partir de la fin de la prochaine décennie, l'Army a rehiérarchisé les axes de sa stratégie capacitaire, accordant la priorité à six grands domaines (les « Big Six »). Le FVL est la troisième de ces priorités, derrière la P1 que constituent les *Precision Long-Range Fires* déjà évoqués et le *Next-Generation Combat Vehicle* (NGCV). Bien entendu, la démarche vers les capacités MDO est incrémentale, ce d'autant que l'horizon de leur concrétisation a été sensiblement repoussé. Il comprend maintenant deux étapes : « *MDO Capable* » pour 2028, correspondant à l'objectif initial, et « *MDO Ready* » pour 2035.

Comme tout développement capacitaire de grande ampleur, le FVL n'est pas uniquement une problématique matérielle mais nécessite aussi une évolution des doctrines au sens

large (concepts d'emploi, procédures, etc.), de l'organisation des unités, de l'entraînement, de la formation ou encore des infrastructures d'accueil de ces systèmes. Au sein de l'Army Futures Command (AFC) qui a en charge d'intégrer les travaux de modernisation, le FVL fait l'objet comme les autres priorités d'un *Cross-Functional Team* (CFT), en l'occurrence une équipe de 28 personnes (comprenant des spécialistes opérationnels, en acquisitions, en R&D, etc.) sous le commandement du général de brigade Walter Rugen, lequel a directement accès aux bureaux du chef d'état-major, du vice-chef d'état-major et du secrétaire à l'Army. Au niveau des décideurs, le FVL est le creuset de la coordination entre 6 organisations : l'état-major de l'Army (les bureaux G3/G5/G7 Plans, opérations et entraînement), l'Aviation & Missile Command (AMCOM) pour les questions de soutien et de maintenance, l'US Army Aviation Center of Excellence de Fort Rucker (l'école d'arme de l'Army Aviation assurant notamment l'instruction), la communauté RDT&E (notamment l'Aviation & Missile Center du Combat Capabilities Development Command subordonné à l'AFC), le bureau programme (*Program Executive Office –Aviation*) et l'US Army Special Operations Aviation Command (USASOAC). Le CFT œuvre avec bien d'autres acteurs : autres CFT au travers d'une équipe d'intégration horizontale au sein de l'AFC, industriels, contributeurs académiques, etc.

### La modernisation des flottes existantes

La première étape de l'Army Aviation, sur le court-moyen terme, contribuant à l'objectif « *MDO Capable* » de 2028, est de poursuivre la modernisation des flottes existantes. Le

chantier, qu'il s'agisse de l'acquisition d'appareils neufs ou de rétrofit, concerne potentiellement (outre les 278 avions de renseignement ou de soutien alignés par l'AA):

- ◆ 791 hélicoptères d'attaque Apache AH-64, qui sont utilisés aussi en reconnaissance, en collaboration avec les drones, depuis le retrait de l'OH-58 Kiowa. Les versions D et E, actuellement en inventaire, doivent converger vers un unique standard AH-64E V6, puis Block II, en seconde moitié de la décennie 2020. La production doit cesser en 2029 ;
- ◆ 2.135 hélicoptères de manœuvre (« *utility* » dans la désignation américaine) UH/HH-60 Blackhawk. Les deux variantes UH-60 V et M vont converger vers la variante M ;
- ◆ 477 hélicoptères utilitaires UH-72 Lakota ;
- ◆ 538 HTL Chinook, soit 465 CH-47F et 73 MH-47G des forces spéciales. Il s'agit déjà de la flotte la plus « jeune » de l'inventaire de l'Army Aviation, qui pourrait être modernisée au standard Block II ;
- ◆ 115 systèmes de drones tactiques RQ-7B Shadow devant être mis au standard BLK II ;
- ◆ 204 systèmes de drones de théâtre MQ-1C *Gray Eagle* (variante du fameux Predator) devant être portés au standard *Gray Eagle Extended Range*<sup>3</sup>.

Sur le plan organisationnel, ces appareils doivent continuer à doter les onze brigades d'aviation de combat actuelles (qui seront réorganisées en douze unités à l'horizon considéré) à raison de 538 Apache, 583 Blackhawk, 132 Chinook et autant de systèmes de drones RQ-7 et de MQ-1C<sup>4</sup>.

L'Apache ainsi que le Blackhawk doivent bénéficier, à partir de 2027, d'une modernisation de leur motorisation avec le programme *Improved Turbine Engine* (ITE). GE Aviation, attributaire du programme, explique que la nouvelle turbine T901 qui en découle affichera 50% de puissance et 25% d'efficacité supplémentaire par rapport à l'actuel T700, permettant d'augmenter les rayons d'action du Blackhawk et de l'Apache, actuellement à 100 km, à 260 km et 215 km respectivement, de doubler à plus de deux heures le *playtime* de l'Apache à 100 km ou encore d'augmenter de 150%, à près de 6000 lb (2,7 t), la charge utile du Blackhawk<sup>5</sup>. Cet ITE sera ensuite intégré aux programmes du FVL.

Il s'agit bien, comme évoqué ci-dessus, d'une poursuite des efforts de modernisation car l'Army a activement financé les rétrofits et les acquisitions d'appareils neufs depuis 20 ans. Elle se trouve dans la situation paradoxale d'une flotte « jeune » dont environ 2.000 de ses quelques 5.000 avions et hélicoptères (sans compter les 17.500 drones) sont rentrés en service au cours de la dernière décennie, mais composée d'appareils principaux dont la conception fondamentale remonte à la guerre froide. Cette modernisation s'impose d'autant plus que la mise en service des systèmes FVL sera très progressive et ne concernera qu'une partie de la flotte, en ce qui concerne du moins les hélicoptères. On trouvera encore à l'horizon 2040 dans l'inventaire de l'US Army de nombreux Apache, Blackhawk, Lakota et Chinook...

### Les quatre grands axes du FVL

Le programme FVL proprement dit ne date pas d'hier puisqu'il est né en 2008. Il se concrétise actuellement par quatre lignes d'effort : deux lignes de plateformes (FARA et FLRAA), les futurs systèmes télépilotés (FUAS, soit les drones et les nouvelles munitions) ainsi que l'architecture ouverte modulaire (MOSA). Ces quatre programmes figurent parmi les 31 programmes de priorité absolue (plus les armes hypersoniques et à énergie dirigée), figures de proue des *Big Six*, présentés par l'Army dans le cadre du budget 2020.

#### Le programme Future Attack Reconnaissance Aircraft (FARA)

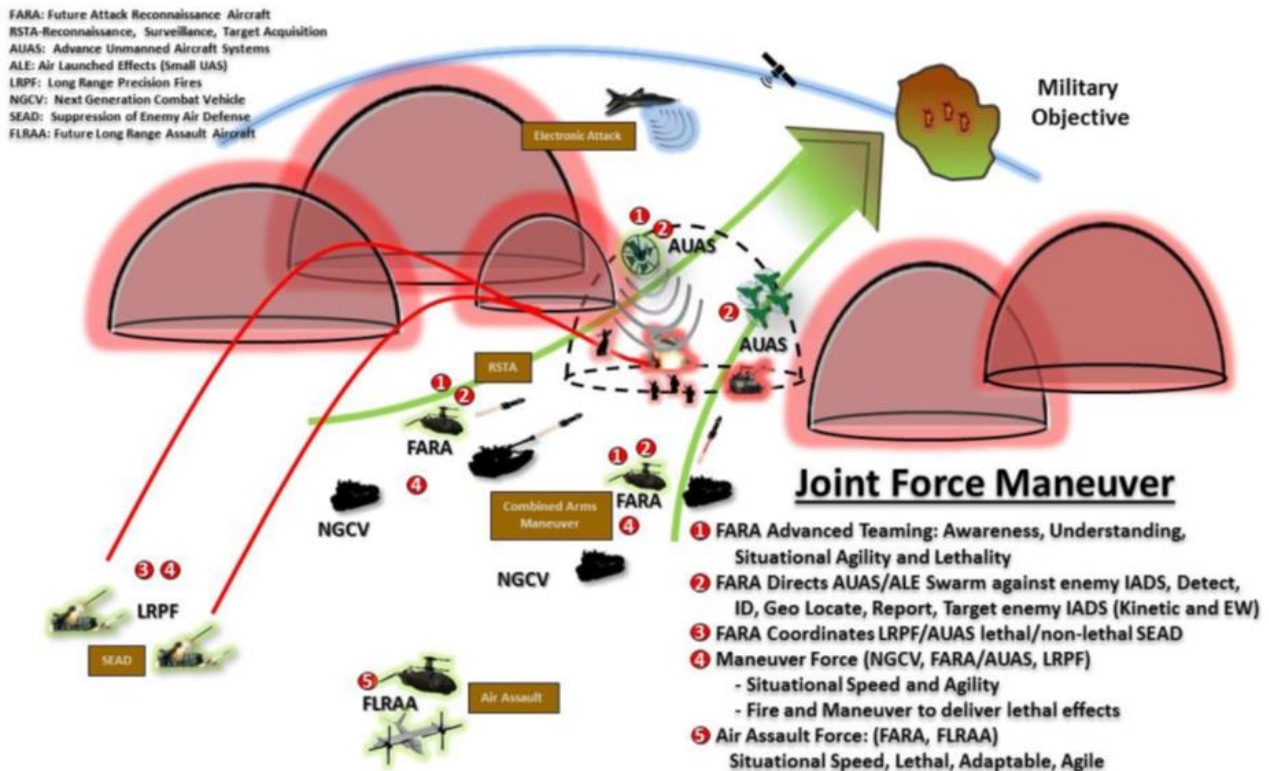
Il correspond à la CS1, une capacité disparue avec le retrait du Kiowa depuis deux ans et qui constitue le principal gap de l'Army Aviation, selon les hiérarques de l'Army. A ce titre, le FARA doit remplacer la moitié des Apache déployés dans les *Heavy Attack Reconnaissance Squadrons* où ils opèrent avant tout en mission de reconnaissance avec les drones RQ-7<sup>6</sup>. Cet appareil doit être le « combattant au couteau » de l'Army Aviation, en mesure d'éviter la détection pour constituer, notamment, la pièce centrale du « bréchage » de l'IADS adverse. Le FARA doit ainsi être un « *digital quarterback* » comme le F-35, opérer en *Manned-Unmanned Teaming* avec les munitions maraudeuses (*Air-Launched Effects*, ALE, voire ci-dessous) qu'il doit délivrer tant pour attaquer lui-même les systèmes adverses – avec de nouveaux missiles longue portée également – que pour fournir du renseignement de ciblage au profit des feux dans la profondeur<sup>7</sup>.

Moins ambitieuse que le défunt RAH-66 Comanche, la plateforme devra tirer sa survivabilité non pas tant d'une furtivité qui résidera surtout dans ses émissions sonores, que de sa taille, de sa vitesse et des tactiques employées. Du reste, le général Rugen a récemment précisé des limitations importantes à l'emploi du FARA<sup>8</sup>. Même si la doctrine d'emploi tactique de l'Army Aviation (ATP 3-04.1) inclut, à l'instar de la doctrine française de l'aérocombat, l'attaque au-delà de la ligne avancée des forces terrestres amies, l'embuscade tendue par les Irakiens à Kerbala en 2003 sur les Apache, maladroitement avancés en raid dans leur dispositif (qui s'était soldé par l'endommagement de 30 appareils et la perte de l'un deux), semble rester dans les mémoires, ce qui limiterait dans la pratique les opérations d'attaque dans la profondeur. Le FARA ne sera donc pas employé de façon autonome dans cette profondeur, il devrait évoluer en appui, « *over the shoulder* », des forces terrestres, qu'il s'agisse d'unités mécanisées sur NGCV ou d'unités d'assaut aéromobile.

Les spécifications basiques fixées par l'Army sont la motorisation par l'ITE, une masse maximale en charge de 14000 lb (6,35 t), une vitesse de croisière à pleine charge d'au moins 180 nœuds (330 km/h), un armement composé, entre autres, des ALE et d'un canon de 20 mm.

Les spécifications désirées mais négociables concernent, notamment, le rayon d'action (135 MN, 250 km), l'endurance (> 2 heures), une charge utile reconfigurable de l'ordre de 1400-2000 lb (635-907 kg) et le caractère optionnellement pilotable.

## Conception d'emploi du FARA



Source : Dan Bailey, US Army Future Vertical Lift Project Updates, présentation, 11 septembre 2019

Airbus avait annoncé sa participation à ce programme avec son *Rapid and Cost-Effective Rotorcraft (RACER)*<sup>9</sup> mais il a été écarté dès la phase initiale de sélection. Les deux compétiteurs retenus en mars 2020 pour les phases de conception, de fabrication et de tests sont Sikorsky (désormais intégré au groupe Lockheed Martin), qui propose le S-97 Raider, et Bell, qui propose l'Invictus 360. La sélection du vainqueur et le lancement formel de la phase d'*Engineering and Manufacturing Development (EMD)* du programme doit intervenir en 2024 pour une éventuelle capacité opérationnelle initiale (IOC) en 2030<sup>10</sup>.

#### Images d'artiste du Bell 360 Invictus et du Sikorsky S-97 Raider



#### Le programme Future Long Range Assault Aircraft (FLRAA)

Correspondant à la CS3, le FLRAA est destiné à remplacer les UH-60 pour les missions d'assaut aéromobile, de soutien et d'évacuation sanitaire (EVASAN). Contrairement au FARA, si l'Army est le service leader du programme, l'appareil sera aussi mis en œuvre par le Corps des *Marines* et l'*US Special Operations Command*, ce qui complique les spécifications et les appréciations de coût, notamment. Il n'en reste pas moins que le programme est le plus avancé des éléments du FVL. Le *Critical Design Review* du FLRAA se basera ainsi sur le *Joint Multi-Role Technology Demonstrator (JMRTD)*, lancé depuis 2016 et qui s'achève en 2020. S'y sont affrontés quatre compétiteurs : les appareils proposés par AVX Aircraft, Karem Aircraft, le SB-1 Defiant proposé par Boeing-Sikorsky (comme le S-97, c'est un appareil hybride à rotors coaxiaux contrarotatifs avec hélice propulsive, censé conserver l'agilité à basse vitesse de l'hélicoptère conventionnel), et le convertible V280 Valor proposé par Bell. Comme pour FARA, ce sont ces deux derniers projets qui ont été retenus en mars 2020<sup>11</sup>. L'IOC du FLRAA était initialement envisagée pour 2034<sup>12</sup> mais l'Army a décidé d'accélérer le programme pour parvenir à une première unité équipée dès 2030<sup>13</sup>.

Les spécifications du JMRTD qu'atteignent voire dépassent les deux compétiteurs sont, entre autres, une charge utile de 12 combattants équipés, une vitesse de croisière de plus de 425 km/h, un rayon d'action de 424 km (d'où un concept d'emploi de manœuvre 3D d'une heure, dans des profondeurs opératives). C'est la vitesse qui constitue la principale rupture en matière de performances par rapport au Blackhawk. Elle a été déterminée par la mission EVASAN : elle prévoit une évacuation « zéro risque », en une heure, en

V280 Valor



SB-1 Defiant



Tableau des spécifications de l'Army pour le Future Long Range Assault Aircraft (FLRAA) et comparaison avec les performances affichées du Valor et du Defiant

	Besoins US Army	Bell V280 Valor	Boeing-Sikorsky Defiant
Rayon d'action	200 à 300 MN (370 à 555 km)	500-800 MN (charge ?)	426 km
Vitesse	250 à 280 nœuds (463 à 518 km/h) à pleine puissance	280 nœuds (518 km/h)	250 nœuds (463 km/h)
Charge interne	5 000 lb (2,270 t)	12 000 lb (5,440 t) non précisé interne / externe / total	Inconnue
Charge externe	8 à 10 000 lbs (3,6 à 4,5 t) sur 110 MN (203 km) à une vitesse minimale de 140 nœuds (260 km/h)		
Passagers	12 sièges de 60 cm de large pour un combattant à 365 lb (165 kg)	14 combattants + 4 membres d'équipages	12 combattants + 4 membres d'équipages
Réseau	Liaison chiffrée permettant échange de données voix, données, images, modularité		
Armement	Pas de mention	Variante armée	
Ravitaillement en vol	Ingénierie doit permettre l'installation	Oui	

Source spécifications du FLRAA : Long Range Assault Aircraft (FLRAA) Request For Information (RFI), Apr 5, 2019

tout point de la zone d'opération d'une brigade de combat de 300 km<sup>2</sup>, ce point se trouvant donc à des distances maximales de 150 à 212 km du centre de l'unité – où l'on présume la présence de l'hôpital – selon la géométrie de la zone<sup>14</sup>.

La *Request for Information* (RFI), émise pour le LRAA, précise les capacités attendues par l'Army, l'USMC et l'USSOCOM (voir tableau ci-dessus). À noter que les spécifications de l'Army ne mentionnent pas d'armement mais les différents entretiens laissent penser que le FLRAA pourra lui aussi mettre en œuvre, au moins, les ALE. L'USMC, en revanche, a clairement un besoin pour une intégration d'armements au FLRAA qu'il destine non seulement aux missions utilitaires et d'assaut mais aussi à l'appui aérien rapproché ou encore à l'escorte des V-22 Osprey<sup>15</sup>.

#### Incertitudes sur les autres programmes de plateformes

Concernant ses autres hélicoptères, l'Army n'a pas encore lancé de programmes relevant de la CS2 pour remplacer les Apache déployés dans les *Attack Reconnaissance Battalions* dont la mission est avant tout l'attaque. C'est un des sujets d'incertitude majeur quant à la configuration précise que prendra le FVL.

Quant à la modernisation du Chinook CH-47F en version Block II, son avenir est lui aussi incertain : le DoD avait décidé d'y renoncer dans le cadre de sa requête budgétaire

2020<sup>16</sup> mais le Congrès a rétabli les financements de préparation de cette entreprise. La décision de procéder à cette modernisation doit intervenir en 2021<sup>17</sup>. Ce chantier, s'il est effectivement lancé, devrait probablement repousser la prise en compte d'une plateforme de transport lourd de nouvelle génération, dernier élément du FVL, à l'orée des années 2050<sup>18</sup>. L'Army devrait préciser son besoin en la matière en 2023.

#### Les Future Unmanned Aircraft Systems (FUAS)

Le troisième axe du FVL comprend tout d'abord les nouveaux systèmes de drones proprement dit qui se concrétisent dans trois programmes :

- ◆ Les *Advanced UAS* (AUAS) qui doivent remplacer les drones de théâtre Gray Eagle et dont on sait encore peu de choses ;
- ◆ Les *Future Tactical UAS* (FTUAS) qui doivent prendre la suite des drones tactiques RQ-7 Shadow. Ces drones doivent être mis en œuvre sans piste, disposer de capacités d'autonomie accrues et de caractéristiques (manœuvrabilité, navigation, etc.) leur permettant d'opérer en environnement contesté. Quatre compétiteurs sont en lice : Arcturus UAV avec le Jump 20, L3 Harris Technologies avec le FVR-90, Textron avec l'Aerosonde HQ et Martin UAV avec le V-Bat<sup>19</sup> ;
- ◆ Enfin, les *Short Range Recon* (SRR) UAS, les mini-drones déployés par les combattants débarqués, que nous ne développerons pas ici plus avant.

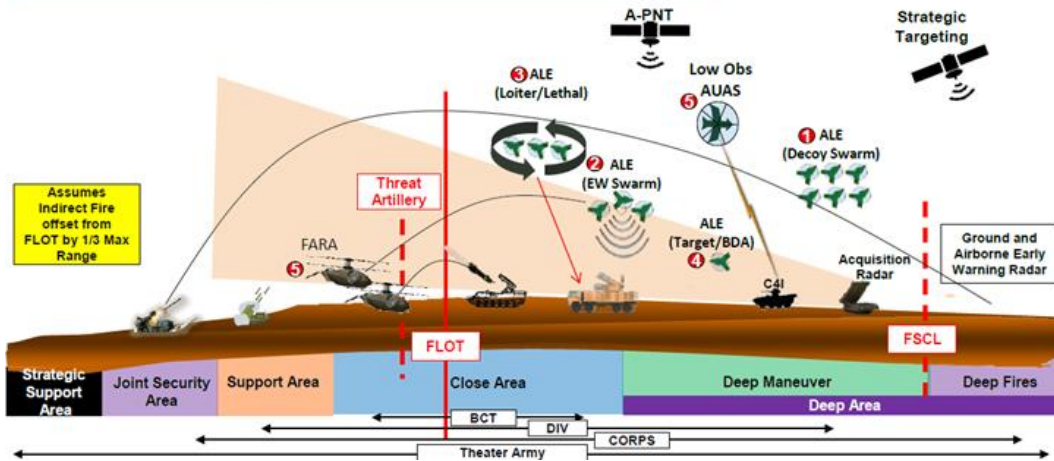
Vision de l'Advanced Teaming de l'Army Aviation



ADVANCED TEAMING

"Advanced teaming is the symbiotic effort of manned rotary wing and fixed wing aircraft, unmanned aircraft systems, ground vehicles, and air launched effects (ALE) to accomplish the full range of multi-domain operational missions with enhanced and distributed situational awareness, greater lethality, and improved survivability."  
 - TCM-FVL, FVL CFT

- Layered Breaching**
- 1 Decoy stimulates IADS signature
  - 2 EW conducts stand-in jamming
  - 3 Lethal destroys prioritized targets
  - 4 Optical provides BDA
  - 5 RSTA, Kinetic/Non-Kinetic Attack



Source : Carvil E.T. Chalk, Aviation S&T for the AMTC, U.S. Army Research, Development And Engineering Command, Aviation Development Directorate, presentation, 20 November 2018

Font partie également de ces FUAS, les *Air Launched Effects* (ALE), c'est-à-dire les drones/missiles air-sol maraudeurs, déjà évoqués. Ils représentent une pièce essentielle du système de systèmes FVL dans la mesure où ils disposeront de charges diverses qui en feront les véritables éléments au contact de l'AA, en contre-A2/AD : ISR/BDA, cinétique et brouillage stand-in, désignation d'objectifs, leurres, etc.

Ces appareils doivent de plus opérer en essaim. Le besoin de l'Army semble s'orienter vers deux catégories d'ALE, l'une de drones de maraudage lents et l'une de drones plus rapides et de plus longue portée. Le vrai défi est de pouvoir mettre en œuvre ces drones depuis la très basse altitude (moins de 100 m). Aucun système de la sorte n'existe actuellement sur le marché. Le plus proche est le drone ALTIUS (4 heures d'endurance, portée de 400 km mais charge utile de 3 kg) que l'Army a testé avec succès en 2018 depuis un Blackhawk, pour valider le tir de drone depuis un hélicoptère. Là encore, de multiples expérimentations sont prévues dans les années à venir<sup>20</sup>. Une première version de ces ALE doit rentrer en service sur les appareils actuels aux alentours de 2024-2025<sup>21</sup>.

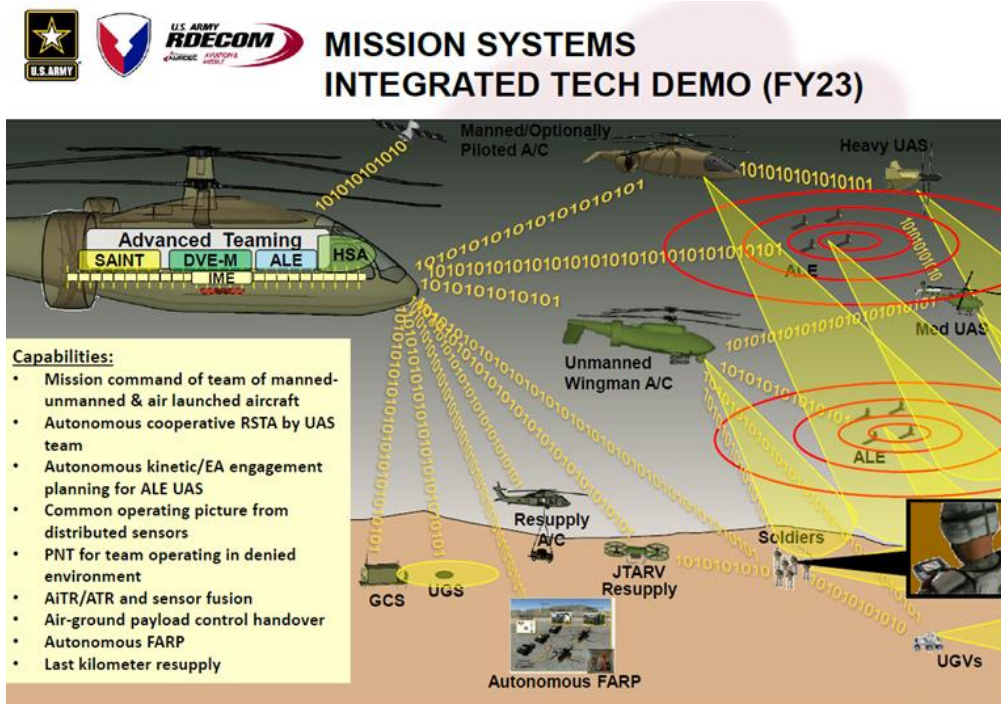
L'ensemble de ces éléments mais aussi les éléments terrestres (véhicules, combattants) doivent opérer en « *Advanced Teaming* », version plus élaborée du *Manned-Unmanned Teaming* liant incrémentalement AH-64 et drones Gray Eagle / Shadow 200 au sein des *Combat Aviation Brigade* de l'Army, depuis une dizaine d'années. Un *Advanced Teaming Demonstration Programme* (A-Team) destiné à tester les technologies et les concepts d'emploi de cette collaboration a été lancé en 2019 pour culminer en 2023<sup>22</sup>.

FARA, FLRAA et les drones embarqueront enfin de nouveaux missiles, développés incrémentalement : les *Modular Missile Technologies* (MMT) peu coûteuses, reprenant le segment de la roquette guidée *Advanced Precision Kill Weapon System* (APKWS) et le *Joint Air-Ground Missile* (JAGM) qui commence à succéder aux Hellfire depuis l'an dernier. L'Army entend également acquérir une nouvelle *Long Range Precision Munition* (LRPM) pour conférer à ses plateformes une capacité d'engagement *stand-off a minima*. La RFI, diffusée en septembre 2019, stipule que ce missile est destiné à engager des cibles stationnaires ou mobiles (IADS, C2, véhicules blindés et personnel) par tous temps et en l'absence de GPS. Il doit afficher une portée de plus de 30 km et une vitesse subsonique haute (1000 km/h) et bien sûr disposer d'une liaison de données<sup>23</sup>. Le missile Spike-NLOS, même s'il n'est pas en mesure de frapper ses cibles dans toutes les conditions requises, a été testé avec succès sur Apache et fournira à partir de 2023, une capacité intérimaire de LRPM<sup>24</sup>.

L'architecture ouverte modulaire (Modular Open System Approach, MOSA)

Ce quatrième axe est transverse aux trois précédents. La MOSA doit permettre aux différents programmes de partager le maximum d'éléments et ainsi, d'une part, réduire les coûts de développement, d'autre part, accélérer et flexibiliser la modernisation des capacités, l'obsession du Pentagone et du Congrès pour renverser la dynamique d'érosion de la supériorité américaine face aux montées en puissance russe et chinoise.

## Expérimentation de l'Advanced Teaming de l'Army Aviation



Source : Carvil E.T. Chalk, Aviation S&T for the AMTC, U.S. Army Research, Development And Engineering Command, Aviation Development Directorate, presentation, 20 November 2018

En effet, l'architecture ouverte modulaire (MOSA) permet de désolidariser la gestion de la plateforme, au long court, et celle de ses équipements et charges utiles qui peut enfin adopter un cycle de rafraîchissement plus rapide en phase avec la vélocité des évolutions technologiques.

L'Office of the Secretary of Defense (OSD) préconise la mise en œuvre de ces MOSA depuis plusieurs années dans le cadre des mesures du *Better Buying Power*, déployées par Ashton Carter au début de la décennie 2010. Le recours à ces architectures, sauf exception, est devenu une obligation légale pour tous les programmes d'armements majeurs avec la *National Defense Authorization Act* de l'année 2017 (Section 805). Généralement lancés et sponsorisés par les armées, une quinzaine de standards matériels et/ou logiciels pour systèmes terrestres et aériens, principalement l'avionique et la vétronique, ont été produits ou sont en train d'être produits par les industriels américains, réunis en de vastes consortiums. De natures, portées et cheminements variés, ces architectures fournissent surtout des standards d'interface entre les composantes et les plateformes et l'approche pour réaliser et valider les éléments correspondant. Elles exploitent des *Government Reference Architectures* (GRA) offrant un point de référence pour une fonction donnée (par exemple, communications, radars, drones, guerre électronique, systèmes PNT)<sup>25</sup>.

Dans le cas du FVL, le travail sur la MOSA a été lancé dès le lancement du programme en 2009 avec le développement d'une GRA, en l'occurrence nommé *Joint Common Architecture* (JCA). De multiples études ont été contractualisées avec les industriels (Boeing, Lockheed Martin/Sikorsky, Honeywell, UTC/Rockwell Collins) d'où il ressort que cette architecture devrait notamment se baser sur le standard *Future Airborne Capability Environment* (FACE) concernant les

interfaces logicielles en avionique<sup>26</sup>. De fait, FACE représente le plus ancien standard MOSA, le plus large quant à son scope et à la participation industrielle (l'« *Open Group* » réunissant tous les grands plateformes et équipementiers), initialement sponsorisé par la *Navy* et l'*Army*<sup>27</sup>. De multiples démonstrations, les *Mission Systems Architecture Demo* (MSAD), menées sur 4 ans dans le cadre de la JMRTD, ont précisément pour objet de tester et de murir ces standards. L'*Army* mentionne bien sûr l'architecture JCA/FACE mais aussi son pendant matériel, le *Hardware Open Systems Technologies* (HOST)<sup>28</sup>. Impulsé par la *Navy*, ce dernier standard est déjà mis en œuvre, par exemple, sur des composants du F-35<sup>29</sup>. Le FVL va tout autant reposer sur la *Sensor Open Systems Architecture* (SOSA). Incubée dans FACE en 2015, initiée par l'*Air Force*, la SOSA a vocation désormais à standardiser les interfaces logicielles et physiques pour tous les types de capteurs, systèmes de guerre électronique et de communication. C'est en fait autour de la SOSA que semble s'organiser la convergence des différents autres standards, pas uniquement pour le FVL et y compris dans le domaine terrestre<sup>30</sup>.

A noter que la communauté des éléments entre le FARA et le FLRAA ne s'arrête pas aux architectures avioniques ou à l'ITE. Les deux appareils doivent, par exemple, aussi partager le même cockpit.

### Les interdépendances principales avec les autres priorités de modernisation

Mentionnons enfin l'étroit couplage du FVL avec les autres priorités de la modernisation de l'*Army* :

- ♦ Les LRPF, que le FARA et ses drones doivent éclairer. On rappellera ici que l'*Army* œuvre au doublement de portée de l'ensemble de ses systèmes et en conçoit de nouveaux. Cela concerne évidemment les feux tactiques avec

notamment l'*Extended Range Cannon Artillery* (ERCA) et les roquettes *GMLRS Extended Range* (GMLRS ER) tirant à 150 km. L'Army entend aussi se doter des moyens permettant de frapper avec précision l'adversaire dans la portée opérative, avec le *Precision Strike Missile* (PrSM) remplaçant l'ATACMS et devant dépasser les 500 km et, même stratégique, avec le *Strategic Long Range Canon* et le *Long-Range Hypersonic Weapon* (LRHW) ;

- ◆ Le *Network*, bâtissant une architecture de transmission à la fois plus facile à configurer, plus flexible, aux éléments plus mobiles que par le passé, et plus résiliente face aux capacités de guerre électronique dont les Russes et les Chinois font étalage. Il couvre également les nombreux travaux relatifs à l'environnement informatique et aux applications employées par les états-majors, unités, plateformes et combattants débarqués ;
- ◆ L'*Assured Positioning Navigation and Timing* (APNT) piloté par un CFT spécifique. La capacité à maintenir ces capacités de PNT en environnement électromagnétique dégradé, notamment sans le GPS qui en représente encore l'épine dorsale, est une priorité de l'Army. Comme les autres services, elle œuvre à une stratégie plurielle : emploi du GPS avec le M-Code et nouvelles antennes antibrouillages mais aussi recours à d'autres moyens spatiaux, à des pseudolites, enfin, étalé sur le moyen-long terme, développement de centrales inertielles et de systèmes d'horlogerie embarqués affichant des performances leur permettant de se passer de sources PNT extérieures (avec l'appui déterminant de la DARPA). Précisons, enfin, que le CFT APNT a pris en compte également, pour des raisons de cohérence, le développement des capacités spatiales d'ISR / *Reconnaissance, Surveillance and Target Acquisition* (RSTA) ainsi que celles de la *Navigation Warfare*, la guerre électronique focalisée sur le PNT<sup>31</sup>.

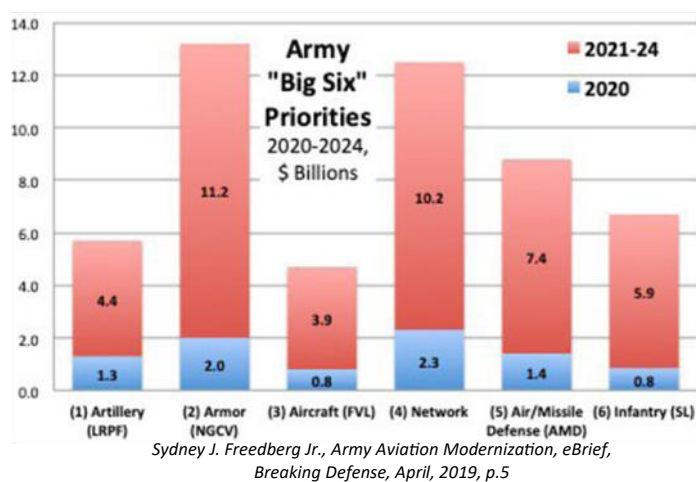
## Les financements

L'Army serait encore incertaine et, en tout cas, n'a pas communiqué précisément sur les cibles d'acquisition des FARA et FLRAA mais explique que le remplacement nombre pour nombre des appareils actuels n'est pas forcément une approche pertinente.

- ◆ Concernant le FARA, un des responsables du *PEO-Aviation* a indiqué récemment qu'il « n'était pas en désaccord » avec les estimations indépendantes portant sur l'achat de 300 à 400 appareils pour un montant de 15-20 Mds\$<sup>32</sup>. Cependant, tout dépendra de la décision de l'Army de procéder ou non au développement d'un successeur dédié à l'AH-64, qui confinerait le FARA aux escadrons de reconnaissance. Le scénario d'une étude de coût, réalisée par les chercheurs du CSIS, part sur une hypothèse d'acquisition de 280 appareils, crédible avec cette logique<sup>33</sup> ;
- ◆ Pour le FLRAA, le CSIS prend comme présupposé l'acquisition de 378 appareils et le retrait d'un nombre équivalent d'UH-60.

De façon générale, le budget *Modernization* de l'Army (total des crédits RDT&E et acquisition) a atteint un pic de 42 Mds\$ en 2018 et se réduit depuis ; un déclin qui devrait se poursuivre sur la FY21 puis ce budget devrait se stabiliser à environ 34 Mds\$ dans la programmation à 5 ans (*Future Years Defense Program*, FYDP), allant de pair avec le budget 2020. Sans surprise en raison des grands programmes de plateformes, les crédits *Aviation* comptent pour la plus grosse part de ce budget, à égalité avec ceux consacrés aux véhicules terrestres, soit 16 % (près de 5 Mds\$, soit 19% du total des crédits d'acquisition, et un peu plus de 1 Mds\$, soit 9% du total des crédits RDT&E). Sur 2020 et l'ensemble de cette FYDP, ce sont 4,7 Mds\$ qui seront dépensés sur le FVL<sup>34</sup>. Paradoxalement, comme le FVL est un portefeuille capacitaire encore peu mature, n'incluant pour ce court-moyen terme que des crédits RDT&E, il représente la plus petite fraction des fameux « *Big Six* ». Les dépenses somptuaires viendront plus tard, éventuellement si les conséquences budgétaires de la crise le permettent encore (voir ci-dessous).

Pour le plus long terme, tant le CSIS que le CBO<sup>35</sup> ont réalisé des études d'estimation des coûts d'acquisition (CBO) et de possession plus globale (CSIS) de ces nouvelles plateformes. Les experts des deux organismes restent évidemment prudents compte tenu des nombreuses incertitudes programmatiques : modernisation des CH-47F ? retrait ou redéploiement des AH-64E avec l'arrivée du FARA ? maintien ou non de la production du Blackhawk avec l'arrivée du FLRAA ? etc.



De leurs différents scénarios, ils tirent cependant la conclusion que les coûts d'acquisition du FLRAA et du FARA devraient rester abordables si on les compare avec les crédits dépensés par l'Army depuis 20 ans pour moderniser son *Army Aviation*. Il est à noter cependant que ces études n'indiquent pas si elles prennent en considération les autres programmes FVL, tels que les drones, ni d'éventuelsancements de programmes sur les CS2 et CS6.

Le CBO est parti d'un coût d'acquisition unitaire moyen jusqu'en 2050 de 53 M\$ pour le FLRAA et de 40 M\$ pour le FARA (en \$ constant FY18). A noter d'ailleurs que Bell annonce un coût unitaire (*Flyaway?*) pour son V280 de 30 M\$<sup>36</sup>. Sur cette base, le CBO estime que les montants d'acquisition annuelle de l'Army pour ses aéronefs, incluant

30 FARA et 30 FLRAA atteindraient un plateau de 4 Mds\$ durant la première partie de la décennie 2030 pour décliner ensuite. Même si les acquisitions passent vers 2038 à 60 FLRAA pour accélérer le rajeunissement de la flotte, on reste loin des 6 Mds\$ dépensés en moyenne sur la période 2010-2018. Le bureau *Cost Assessment and Program Evaluation* (CAPE) du Pentagone estime au demeurant que dans le cas des appareils à voilure tournante, les dépenses d'opérations et de maintenance constituent historiquement à elles seules 68% de leur coût de possession.

### Enjeux et problématiques industriels

Le FVL représente un enjeu industriel majeur, la clé de la survie des compétences de la BITD américaine en la matière. Ces dernières semblent avoir été mises à mal par l'absence de développement de projets entièrement nouveaux au sein des forces américaines depuis les années 80, donc par des financements RDT&E ténus du Pentagone qui reste le principal client des industriels américains. Il semble que les hiérarques de l'Army soient plus que jamais conscients de cette question et entendent la prendre pleinement en compte dans la gestion du programme, la sélection des fournisseurs, etc.<sup>37</sup>

Les points de défaillances potentiels, selon Rhys McCormick et Andrew P. Hunter du CSIS<sup>38</sup>, résideraient dans les équipementiers sous-traitants de niveau 3. En effet, la nouvelle génération des systèmes FVL va s'accompagner d'une accélération de la mise en œuvre des nouveaux procédés industriels chez les grands plateformes, Bell et Sikorsky, et leurs grands équipementiers sous-traitants : impression 3D, « *digital twin* » (une technologie née avec la conquête spatiale consistant en une réplique numérique d'un équipement réel pour évaluer, avec force intelligence artificielle, l'évolution de ses performances, ses points de fragilité, etc.), maintenance prédictive, etc. L'enjeu est de savoir si ces équipementiers de rang 3 pourront s'adapter, d'autant que les plateformes, principalement intégrateurs depuis des décennies, comptent réinternaliser en leur sein la fabrication de plusieurs éléments.

Une autre problématique réside dans le niveau de préservation de la propriété intellectuelle. Les MOSA la garantissent en théorie, dans une certaine mesure, en définissant des interfaces matérielles et logicielles communes aux sous-systèmes mais elle reste une question sensible. Selon les experts du CSIS, c'est même la partie la plus difficile du FVL. Les industriels se demandent, par exemple, si l'objectif réel de l'Army est d'accélérer la modernisation de ses systèmes ou de réduire les coûts. Quoi qu'il en soit, il semble que la MOSA doive encore faire l'objet de multiples discussions entre les deux parties pour être mature.

### Un programme dont la destinée précise reste encore incertaine

L'enjeu industriel, de même que l'ancienneté de la quasi-totalité des designs de plateformes actuels, ne laissent planer que peu de doutes sur la poursuite du FVL. Cependant, l'ampleur réelle et la physionomie qu'il revêtira au final reste des inconnues à ce stade. Tout d'abord, de multiples déci-

sions programmatiques restent à prendre, notamment sur un futur appareil d'attaque devant succéder aux Apache qui ne seront pas remplacés par le FARA (le CS2), sur le futur aéronef de transport lourd qui devra faire suite au Chinook (CS6) et, bien entendu, sur la transition des flottes actuelles vers ces nouveaux systèmes.

Ensuite, plusieurs facteurs peuvent faire dérailler l'entreprise. Le premier venant à l'esprit est évidemment le volet financier. Si les quatre programmes majeurs du FVL semblent pouvoir être financés dans l'enveloppe des efforts actuellement consentis, la marge est bien faible pour prendre en compte les autres programmes évoqués ci-dessus, dont la criticité va pourtant rapidement se poser et forcera sans doute l'Army à des compromis douloureux. Encore faut-il que les financements soient maintenus ce qui, dans le contexte budgétaire *post-COVID-19*, n'a rien d'évident. Si les crédits de la FY21 pourraient rester préservés, bon nombre d'experts américains craignent une réduction massive de l'effort, que cette dernière provienne de l'affirmation des « *budget hawk* » au Congrès devant les déficits abyssaux générés par le vaste programme de stimuli économique ou d'une orientation démocrate en cas de victoire de Joe Biden en novembre, entendant classiquement rééquilibrer les dépenses militaires et non-militaires. Le risque d'une saignée de même ampleur que celle du *Budget Control Act* de 2011 est donc plausible. Dans ce type de situation, les services privilégient systématiquement le maintien de la *Readiness*, ce qui se ferait mécaniquement au détriment de la modernisation, dont le FVL. Pire encore, compte tenu des fractures qui parcourent la société américaine et de la personnalité du président Trump qui ont polarisé comme jamais le paysage politique, il ne faut pas exclure, par exemple, à l'occasion des élections de novembre, une crise majeure paralysant les institutions.

Ces sombres perspectives ne sont pas pour autant gravées dans le marbre. Une reprise économique plus vigoureuse qu'anticipée, à laquelle semblent d'ailleurs se raccrocher les chefs d'entreprises et les marchés, reste tout à fait plausible. De plus, on pourra objecter que la situation stratégique n'est plus la même que celle des années 2008-2010 : les défis posés par la Russie et la Chine, qui ont au demeurant remis en selle les « *defense hawks* » depuis le milieu de la décennie, devraient rester particulièrement significatifs.

Mais là encore, gare aux trompe-l'œil. Dans le programme de modernisation de l'Army, seuls les *Long Range Precision Fires*, la priorité n°1, et la défense antiaérienne et antimissile sont vraiment requis sur les deux grands théâtres potentiels. En revanche, le FVL, tel qu'il se préfigure, comme les autres priorités que sont le NGCV ou le *Soldier Lethality*, sont taillés pour doter les Etats-Unis d'un dispositif aéroterrestre face à la Russie mais n'ont que peu d'utilité dans les opérations sur les chaînes d'îles et les vastes étendues aéromaritimes du Pacifique occidental et de la Mer de Chine. Or, la Chine, bien plus que la Russie, s'affirme comme le véritable *peer-competitor* et la principale préoccupation des Américains. Mark Esper l'a résumé il y a quelques mois : « *China, China, China* ».



Vient ensuite le facteur doctrinal et capacitaire. Même dans le cas où la dissuasion de Moscou de tout aventurisme dans ses atterrages reste une priorité, on perçoit, en ce moment, dans le débat stratégique américain, un glissement en faveur d'options opérationnelles relevant plutôt de la « *Detterence by Denial* », fondée en premier lieu sur la puissance de feu massive de portée opérative voire stratégique. De plus, si l'Army maîtrise comme aucune autre armée la manœuvre aéromobile de grande ampleur, les manœuvres 3D limitées, type raid, ciblant les centres déterminants en environnement fortement contesté, comme le prévoit le concept MDO, interrompt. Le concept d'un « bréchage » de l'IADS adverse par des FARA disposant d'une portée d'effet direct de quelques dizaines de km, leur permettant d'opérer à distance de sécurité des batteries sol-air courte portée protégeant les systèmes les plus critiques adverses et éclairant les feux dans la profondeur, pourrait en soi faire sens. En revanche, l'action 3D intégrée sur ces centres déterminants, réalisée en synergie avec des unités aéromobiles débarquées, telle qu'imaginée actuellement, laisse pour le moins perplexes car ces unités, par essence peu mobiles, devraient par nécessité être projetées à proximité des objectifs adverses. Cette conception d'une réelle audace implique une prise de risques qui peut correspondre à des opérations spéciales (*Rangers*, par exemple) mais dont on peut douter qu'elle soit dans l'ADN des unités conventionnelles. En tout état de cause, elle exige au préalable de réduire significativement les capacités d'interdiction tactique adverses. De ce fait, le système de systèmes centré sur le FARA devrait bel et bien opérer en totale autonomie lors de la phase initiale de l'engagement. Et quid, dès lors, de l'emploi du FARA si le

contexte interdit ou limite ces assauts aéromobiles ? Pour étayer plus encore sa crédibilité, la vision de l'Army devrait nécessairement intégrer le concept d'aéro-mécanisation qui ne pourra advenir, le cas échéant, qu'avec le successeur du Chinook et surtout totalement intégrer son action avec celle de l'USAF.

Considérant tous ces éléments, c'est bien à une rupture d'ordre culturelle, la plus difficile de toute, qu'invitent le FVL et le MDO. Il ne serait donc nullement étonnant que ce dernier concept finisse par être amendé et, avec lui, la stratégie capacitaire, au détriment des capacités de manœuvre aéroterrestre, menant à une réorientation voire à une réduction de l'effort porté sur le FVL.

Dernier facteur à prendre en compte, il convient de ne pas oublier que l'Army est le *service* qui présente le plus triste bilan en matière de gestion programmatique, ayant accumulé ces 20 dernières années des échecs retentissants, tels que le *Future Combat Systems* ou encore le RAH-66 Comanche. Certes, les institutions, comme les individus, apprennent de leurs erreurs et l'Army a exécuté avec succès, bon nombre d'autres projets, comme la numérisation. Cependant, les incertitudes, la faible marge de manœuvre et les possibles failles esquissées ici rendent d'autant plus ardue la poursuite au long court de ce projet de FVL.

**PHILIPPE GROS**  
Maître de recherche, FRS

## Notes

1. *Future Vertical Lift Initiative Tri-fold*, Vertical Lift Consortium, Oct. 2015.
2. TRADOC Pamphlet 525-3-1, *The US Army in Multi-Domain Operations*, 6 December 2018.
3. COL Rob Barrie, *PEO Aviation Objectives*, présentation, PEO Aviation Industry Day, 12 February 2020.
4. Ms. Leslie Hyatt, *PEO Aviation Roadmap*, présentation, PEO Aviation Industry Day, 12 February 2020.
6. Joseph Trevithick, « Army To Replace Nearly Half Of Its Apache Gunships With Future High-Speed Armed Recon Helo », *The War Zone*, March 27, 2019.
7. Aviation Missile Research Development and Engineering Center (AMRDEC), Aviation Development Directorate (ADD), *Program Solicitation For Future Attack Reconnaissance Aircraft (FARA) Competitive Prototype*, Jun 22, 2018.
8. Sydney J. Freedberg Jr., « Killer Angel On Your Shoulder: Army's Future Armed Reconnaissance Aircraft », *Breaking Defense*, August 13, 2018.
9. Dan Parsons, « Airbus a RACER in US Army Future Attack-Recon Aircraft Competition », *Rotor & Wing International*, February 19, 2019.
10. Données budgétaires de la requête FY21, citées dans Congressional Research Service, *Army Future Vertical Lift (FVL) Program*, In Focus, Updated April 29, 2020.
11. Jen Judson, « Army selects companies to continue in long-range assault aircraft competition », *Defense News*, 2020, March 16.
12. Mr. Timothy Vinson, *Apache Introductory Brief*, Apache Project Office, Jul 2018.
13. Dan Bailey, *US Army Future Vertical Lift Project Updates*, présentation, 11 Sep 2019.
14. CPT Nathaniel D. Bastian, MS USA et alii, « The Future of Vertical Lift: Initial Insights for Aircraft Capability and Medical Planning », *Military Medicine*, 177, 7:863, 2012.
15. Long Range Assault Aircraft (FLRAA) Request For Information (RFI), Apr 5, 2019.
16. Sydney J. Freedberg Jr, « Army Lumbers Into Future: \$33B In 2020-2024 For Big 6, Eventually », *Breaking Defense*, March 12, 2019.
17. Dan Parsons, « Boeing to boost Block II testing as uncertain fate of Chinook factory brightens », *Vertical Mag*, February 3, 2020.
18. Ibidem et COL Tom O'Connor, *Aviation Branch Update*, présentation, 2017 AAAA Cribbins Aviation Support Symposium, 16 Nov 17.
19. Sydney J. Freedberg Jr., « FVL: Attack Of The Drones », *Breaking Defense*, March 10, 2020.
20. Jen Judson, « Coming soon: More complex, air-launched drone demonstrations », *Defense News*, April 23, 2019.
21. Sydney J. Freedberg Jr, « FVL: The Army's 10-Year Plan For FARA Scout », *op cit*.
22. Garrett Reim, « US Army starts manned-unmanned demo for future rotorcraft », *Flight Global*, 14 March 2019.
23. DoD News, « Army Issues RFI for Long Range Precision Munition (LRPM) for Rotary Wing and Unmanned Aircraft Systems », *Defense Systems Journal*, Sep 11, 2019.
24. Future Vertical Lift Cross Functional Team (FVL CFT), « Projecting Long-Range Power and Payload », entretien avec *Armor & Mobility*, March/April 2020, p.25.
25. John Bowling, *Open Systems Standards and Agile Acquisition*, AF Life Cycle Management Center, présentation 25 Oct 2018.
26. Mike Hirschberg, « JMR Technology Demonstration Update: The Road to Future Vertical Lift », *VERTIFLITE* Vol. 62, No. 1 January/February 2016, p. 26.
27. Dennis Stevens Lockheed Martin Corporation, Jeffrey A. Howington Rockwell Collins, David Boyett US Army AMRDEC ; Kirk Avery, Lockheed Martin Corporation, *FACE™ Master Class*, présentation, April 28, 2016 IOA 2016 London, England ; Joyce L. Tokar, PhD, Pyrrhus Software, LLC, *An Examination of Open System Architectures for Avionics Systems – An Update* Air Force FACE™ TIM Paper, March, 2017.
28. Dan Bailey, *op cit*.
29. John Keller, « SOSA open-systems standards for military embedded computing could double or triple the market », *Military & Aerospace Electronics*, Jan 29th, 2019, & « Open-systems electronics standards for military embedded computing gaining money and traction », *Military & Aerospace Electronics*, Feb 6th, 2019.
30. Jack Browne, « One-Size SOSA Fits the Army, Navy, and Air Force », *Microwaves & RF*, Feb 27, 2020.
31. Jeri Manley, Deputy Director, *Assured Positioning, Navigation and Timing Cross Functional Team*, 2019 Redstone Update, Futures Command presentation, Dec 5, 2019.
32. Sydney J. Freedberg Jr, « FVL: The Army's 10-Year Plan For FARA Scout », *Breaking Defense*, March 26, 2020.
33. Rhys McCormick, Gregory Sanders et Andrew P. Hunter, *Assessing the Affordability of the Army's Future Vertical Lift Portfolio*, CSIS, November 13, 2019, note de bas de page p.13.
34. Sydney J. Freedberg Jr., « Army 'Big Six' Ramp Up in 2021: Learning From FCS », *Breaking Defense*, March 14, 2019.
35. Congressional Budget Office, *The Cost of Replacing Today's Army Aviation Fleet*, May 2019.
36. Tyler Rogoway, « We Talk V280 Valor Versus V22 Osprey With Bell's Head Of Tiltrotor Systems », *The War Zone*, May 29, 2018.
37. Loren Thompson « Army Fears If 'Future Vertical Lift' Fal-ters, Serious Fallout For Industry Might Follow », *Forbes*, May 26, 2020.
38. Rhys McCormick, Andrew Philip Hunter, *Assessing the Industrial Base Implications of the Army's Future Vertical Lift Plans*, Center for Strategic and Budgetary Assessment, May 6, 2020.

**La « révolution » des aéronefs à décollage vertical électriques : les taxi-volants comme revalorisation d'une aéromobilité tactique délaissée par l'hélicoptère ?**



© 2020 Joby Aviation

Les images de *taxis-volants* des récits de science-fiction ou les tentatives malheureuses des années 1950 de concrétiser une *AirJeep* comme véhicule de reconnaissance semblent aujourd'hui connaître un début de réalisation par ce que certains qualifient de « Révolution eVTOL ». Le développement des nouvelles « voitures volantes », les Aéronefs à Décollage Vertical Electrique (ADAVE ou eVTOL en anglais), est en effet engagé par l'industrie civile autour des projets *Elevate* d'Uber<sup>1</sup> depuis 2016 et d'*Urban Air Mobility*<sup>2</sup>, initié en 2017 sur financement communautaire, comme une réponse possible à la congestion du trafic intra-urbain. Ils sont à mi-chemin entre l'hélicoptère dont ils peuvent être considérés comme des versions compactes ou « de poche » dédiées à la manœuvre dans les altitudes dites du « sur-sol » à moins de 500 mètres et une configuration lourde des drones commerciaux pour un transport de passagers sur de courtes distances de l'ordre des 100 km. Les ADAVEs connaissent actuellement un développement sans précédent en étant promis moins coûteux à produire et à entretenir, plus efficaces du fait d'une propulsion électrique distribuée et, enfin, plus agiles que l'hélicoptère dont ils ne partageraient pas le besoin d'héliports urbains.

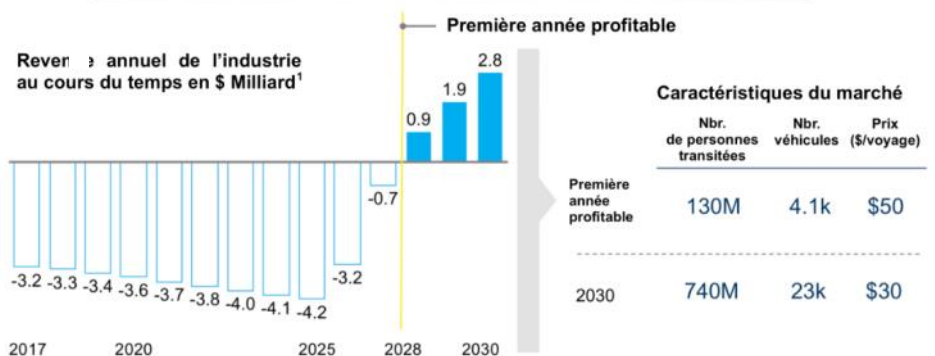
Bulle spéculative ou véritable rupture technique, la « Révolution eVTOL » c'est, selon la *Vertical Flight Society*, plus d'un milliard de dollars investis depuis 2016, 3 milliards selon une étude prospective de Porsche Consulting, dont 500 millions de dollars pour la seule année 2016<sup>3</sup>, et plus de 200 appareils en cours de développement, dont certains sont déjà en phase de commercialisation (*Volocopter 14*)<sup>4</sup>. Les investissements les plus importants sont allés aux entreprises suivantes : Joby Aviation, soutenue par Toyota (131 millions de dollars en 2009 puis 590 millions de dollars levés en 2020<sup>5</sup>), Lillium (102 millions de dollars en 2014), Kitty Hawk (100 millions de dollars en 2015) associée à Boeing depuis juin 2019 et le chinois eHang

(60 millions de dollars)<sup>6</sup>. Dernier venu avec la présentation de son concept d'appareil *S-A1* au *Consumer Electronic Show* (CES) de janvier 2020, Hyundai a promis d'investir plus d'1,5 milliards de dollars dans le marché de l'aéromobilité pour une commercialisation de son appareil en 2028<sup>7</sup>.

Le marché envisagé attire ainsi les convoitises. Il pourrait avoisiner les 74 milliards de dollars à l'horizon 2035, toujours selon Porsche Consulting<sup>8</sup> et les 318 milliards de dollars à l'horizon 2040, d'après une étude récente de Nexa Advisers de 2019 réalisée sur la base d'une analyse des marchés de la mobilité de 74 villes<sup>9</sup>. Encore plus optimiste, une étude commandée par la NASA en 2018 estimait que pour des missions de navettes d'aéroport, de taxis ou d'ambulances, le marché des ADAVEs atteindrait les 500 milliards de dollars<sup>10</sup>. Une autre étude s'avérait cependant plus pessimiste, indiquant qu'un modèle « porte-à-porte » se révélerait économiquement prohibitif et qu'un service « d'air métro » ne connaîtrait un début de rentabilité seulement à partir de 2028<sup>11</sup> ; loin donc du début de commercialisation qu'Uber a annoncé souhaiter dès 2023.

Les ADAVEs semblent surtout connaître un début d'applications militaires par le lancement en février 2020 du programme *Agility Prime* de l'*US Air Force* pour le développement d'appareils de niche, consacrés aux transports de biens

**Un marché viable en 2028 pour un service d'Air Metro ?**



<sup>1</sup> Un revenu annuel de l'industrie implique une rentabilité nette annuelle à travers l'ensemble de la chaîne de valeur dans la fiction de l'existence du marché (comprenant les fournisseurs et opérateurs). Il ne projette pas les pertes potentielles d'investissement. Il assume de plus que toute problématique de réglementation a été résolue.

et de personnes aux échelles tactiques voire micro-tactiques des dédales urbains ou au plus près des troupes entrées en premier. Les premiers démonstrateurs doivent pouvoir voler dès décembre 2020 pour constituer en 2023 une nouvelle capacité opérationnelle d'une trentaine d'appareils.

Cet article a ainsi pour objectif de présenter le « pourquoi » de la « Révolution eVTOL » en expliquant l'échec relatif de l'hélicoptère à incarner la solution de l'aéromobilité intra-urbaine civile comme militaire, puis d'exposer son « comment » en abordant l'environnement industriel, technologique et financier des ADAVEs, pour enfin appréhender ses limites, à savoir avant tout une maîtrise technique du design et une maturité énergétique des batteries électriques, toutes deux encore insuffisantes.

### **Congestion du trafic, compartimentalisation des efforts et des échecs de l'hélicoptère : l'absence de solution aéromobile intra-urbaine**

L'investissement de la troisième dimension par l'industrie civile comme solution au trafic intra voire inter-urbain rejoint en cela les réflexions amorcées sur la revalorisation de l'aéromobilité à l'ère des « Mégacités », synonyme d'expansion de la problématique urbaine à l'échelle planétaire par le gigantisme qu'acquerront les villes à l'horizon 2050<sup>12</sup>. Selon un rapport de l'ONU<sup>13</sup>, avec une croissance de 65 millions d'habitants par an, dont 90% en Asie et en Afrique, l'humanité y vivra à 66%. Dès 2030, les 28 « mégacités » que nous connaissons aujourd'hui, soit des ensembles de plus de 10 millions d'habitants, auront doublé. La ville capitale, la ville piège, semble ainsi plus que jamais acquérir un caractère incontournable, comme centre névralgique et comme centre de gravité malgré, ou plutôt en raison, de sa densification annoncée. Le défi civil de la congestion du trafic, comme celui militaire de la compartimentalisation des efforts, produits tous deux par la densité humaine et infrastructurelle des villes, se rejoignent ainsi par le constat commun d'un différentiel de mobilité entre ses approches périphériques et la progression en son sein. Alors que le segment des vols long-courriers ou alternativement de l'inter-théâtre voit un volume toujours plus important être acheminé toujours plus rapidement<sup>14</sup>, les frictions s'accroissent de façon disproportionnée à l'approche du « dernier mètre ».

Dans le secteur du transport civil, ce coût est ainsi estimé en pollution dégagée et en baisse de productivité. Selon l'étude *Global Traffic Scorecard* de la société INRIX, conduite à partir des données GPS de véhicules de 1 360 villes réparties entre 38 pays, la congestion du trafic urbain amputerait de plus de 468 milliards de dollars les économies allemande, britannique et américaine. Ainsi, pour la seule économie américaine, la perte nette serait de 124 milliards de dollars, avec une augmentation prévue de 50% de ces externalités négatives à l'horizon 2030<sup>15</sup>. Un marché civil de transport intra-urbain par hélicoptère existe. Il avait même amorcé une croissance timide au cours de la décennie 2010. À titre d'exemple, les hélicoptères de New-York connaissaient de 2018 à 2019 une augmentation de leur trafic de 21% à 25%<sup>16</sup>. À Sao Paulo, plus de 150 000 opérations d'hélicoptères étaient ainsi enregistrées annuellement, soit plus de 100 décollages

toutes les heures sur ses 400 hélicoptères<sup>17</sup>. La ville avait même créée en 2004 le tout premier système de contrôle du trafic aérien dédié aux vols par aéronefs à voilure tournante. Cependant, cette solution par l'hélicoptère ne convainc jamais totalement, en raison, d'une part, de la fiabilité jugée insuffisante des appareils – 4,5 accidents par 100 000 heures de vol contre 1,5 accidents pour les voilures fixes de 2006 à 2016<sup>18</sup> –, d'autre part, de leur coût d'utilisation trop élevé pour le client et, enfin, du fait des nuisances sonores qu'ils génèrent. La crise sanitaire du COVID-19 semble avoir à nouveau ébranlé ce secteur. En témoigne la décision du groupe Airbus de ne pas relancer après le déconfinement l'application « VOOM » qui, initiée en 2017 à Sao Paulo, offrait pourtant un service d'hélicoptère à la demande, étendu à Mexico en 2018, puis à San Francisco en 2019, et pouvait se prévaloir de plus de 15 000 passagers<sup>19</sup>. Le développement souhaité des ADAVEs à partir d'un service linéaire de navettes vers un service toujours plus « déporté », individualisé jusqu'au « porte à porte », reprend ainsi l'évolution du marché dévolu aux hélicoptères de transport, d'abord articulé autour de liaisons périphériques – aéroport-centre ville, évacuation médicale dans les années 1970-1980 – puis engagé dans une certaine expansion au tournant du millénaire dans le transport intra-urbain de *VIP*. Les ADAVEs en héritent les contraintes environnementales et les craintes sécuritaires tout en cherchant à émuler son développement économique et à le remplacer à terme sur ses marchés.

Dans le domaine militaire, l'heure est ainsi pour certains à « l'urgence tactique »<sup>20</sup> : les combats urbains, fragmentés, menés à très courte portée avec une impression « d'ubiquité » du feu ennemi, ne laissent une fenêtre d'action que trop réduite pour assurer convenablement ravitaillement, évacuation des blessés ou même des opérations d'enveloppement de l'adversaire. Or, l'incidence grandissante, voire la centralité du combat urbain dans l'environnement post-guerre froide, érode les atouts de l'hélicoptère devenus trop bruyant, trop volumineux et par conséquent trop vulnérable pour évoluer dans les « canyons urbains ». Elle met en défaut l'ambition, lors de la guerre froide, de concrétiser une véritable manœuvre aéroterrestre au moyen de l'hélicoptère, qui avait incarné son véhicule de choix, pour combiner la vitesse et la fulgurance de la troisième dimension au besoin de permanence et de survivabilité des combats au plus proches du sol.

L'expérience de l'aéromobilité dans les batailles urbaines de la dernière décennie s'est ainsi faite discrète. Au-delà d'emplois ponctuels et logistiques, l'aviation légère ou l'*Army Aviation* n'a pas opéré d'enveloppements verticaux ou d'*Air Assault* intra-urbains significatifs. Le manuel américain M 3-04.126 « *Attack and Reconnaissance Helicopter operations* » de 2007 met l'accent sur la fonction appui des appareils avec deux missions retenues : l'attaque en combat rapproché (*Close Combat Attack*) pour un soutien direct, tactique, aux forces au sol et les attaques d'interdiction (*Interdiction Attack*) qui ne comportent plus d'éléments de manœuvres indépendantes ou X-FLOT (dépassement au-delà de la ligne des troupes amies : *Forward Line of Own Troop*)<sup>21</sup>. Il est ainsi

frappant de constater dans l'approche américaine que si le manuel de 2011, ATTP 3-06 « *Combined Arms Operations in Urban Terrain* », entend encore pouvoir utiliser les hélicoptères de transport UH-60 et CH-47 pour saisir des zones critiques, créer de la surprise et même soutenir les forces au sol par des tirs de suppression, les récents manuels doctrinaux de l'*Army Aviation*, dont le FM 3-04 « *Army Aviation* » de juillet 2015, jugent que l'usage de l'aéromobilité en centre urbain est un « risque qui dépasse ses bénéfiques potentiels ». Le survol à basse altitude est devenu réhibitore tout autant que les vols stationnaires pourtant nécessaires aux hélicoptages et posés d'assaut.

La bataille de Falloudjah en 2004 représente un cas de RETEX idéal typique de la vulnérabilité aujourd'hui rencontrée par les hélicoptères en milieu urbain. Un UH-60 BlackHawk a été abattu par un SA-7. Deux Apaches et un AH-1 Super-Cobra ont été perdus pour cause de tirs de mitrailleuses lourdes et de roquettes RPG-7<sup>22</sup>. Plus inquiétant, la période a vu une montée en compétences des groupes insurgés. Alors qu'en 2004, 49 embuscades étaient nécessaires pour toucher un appareil, la proportion en 2005 descendit à 25 embuscades pour un hélicoptère, puis en 2007 à seulement 7 attaques<sup>23</sup>.

Le manuel ATP 3-06 recommande ainsi aux équipages, pour améliorer leur survivabilité, de maintenir une vitesse d'au moins 110 km/h, pour éviter les tirs d'armes légères, d'opérer de préférence la nuit et à la plus haute altitude possible : des impératifs difficilement conciliables avec la recherche de furtivité et la plus-value de l'hélicoptère à pouvoir discriminer au plus près les combattants ennemis en situation d'imbrication tactique. De la même manière, le manuel ATP 3-04.1 « *Aviation Tactical Employment* », d'avril 2016, envisage l'emploi optimal des hélicoptères à travers la « *High Attack* », soit le maintien des appareils à plus de 1 000 mètres d'altitude, pour demeurer hors de portée des armes légères, pouvoir suivre les déplacements ennemis sans obstruction de leur ligne de vue dans les « canyons urbains » et sauvegarder un espace de manœuvre.

L'acceptation russe de l'aéromobilité, comme une capacité d'aviation d'assaut, semble être arrivée aujourd'hui en Syrie au même constat que ceux américains sur l'impraticabilité de l'hélicoptère dans des missions intra-urbaines. Il est symptomatique que leur campagne aérienne, pourtant conçue depuis 2015 dans un rôle d'appui-feu de l'armée syrienne et dont les objectifs sont principalement des centres urbains – Alep, banlieue-est de Damas, Idlib – ait eu recours principalement à la gamme des chasseurs-bombardiers Sukhoï (Su-24, Su-25 et Su-34) et très peu aux hélicoptères d'assaut de type Mi-24 ou Ka-52. Les enseignements des batailles pour Grozny semblent en être le facteur déterminant. Alors que l'ancienne doctrine soviétique prévoyait que 70% des sorties d'hélicoptères devaient se consacrer à des missions d'appui-feu et d'assaut-air, les pertes subies à Grozny – au rythme moyen d'un hélicoptère perdu par mois pour un total de 36 appareils abattus en mars 2002 – firent descendre cette proportion à 17%<sup>24</sup>, au bénéfice des appareils à voilure fixe. La pratique semble ainsi s'être perpétuée aujourd'hui.

Au contraire d'incarner l'élément de manœuvre indépendant chargé de réaliser la percée opérationnelle dans la profondeur du dispositif adverse comme l'envisageaient les doctrines OTAN d'air-mécanisation et soviétique de « frappe de troupe » (*Udary Voysk*) du temps de la guerre froide, l'hélicoptère est ramené désormais à un rôle d'appui, voire d'interdiction des approches urbaines à distance de sécurité, autrement dit, à des altitudes élevées et en périphérie interurbaine. Il se voit à nouveau confronté de façon générale à la critique classique de la trop grande vulnérabilité de son caractère hybride, entre terre et air. À l'heure des stratégies d'A2/AD, il serait à la fois un véhicule insuffisamment blindé et furtif pour survivre aux défenses anti-aériennes et un aéronef trop lent, ou trop peu agile, pour survivre à l'interdiction de la chasse aérienne.

### **Pour la grande profondeur, la grande vitesse du *New Vertical Lift*, pour les portés tactiques, l'*Agility Prime* des ADAVEs**

Face à cette nouvelle non-permissivité des théâtres d'opération, les propositions du programme *Future Vertical Lift* (FVL) de l'*US Army* pour revaloriser la fonction aéromobilité font alors le pari de la « grande vitesse » plutôt que celui de l'agilité des hélicoptères. L'*Army Aviation* se structure en effet autour du concept d'*Air Ground Integration* qui implique une plus grande subordination de la manœuvre aéromobile aux développements tactiques<sup>25</sup>. Or, dans le cadre de la refonte doctrinale des *MultiDomain Operation*, ceux-ci sont désormais envisagés comme des combats menés dans la grande profondeur de l'adversaire par la convergence des moyens et des modes d'action indifféremment de leurs milieux. L'*Army Aviation*, pour rester pertinente et maintenir la continuité des opérations, doit ainsi pouvoir « coller » au plus près, « derrière l'épaule », des éléments de manœuvre les plus rapides et/ou les plus résilients.

Dans le programme FVL, cette exigence se traduit par une contribution nouvelle de l'hélicoptère aux missions de contre-déni d'accès au détriment de l'appui direct en zone urbaine dont il semble confirmer l'abandon. Le futur FARA, ou capacité CS-1, qui remplace l'hélicoptère d'observation OH-58D Kiowa Warrior décommissionné en 2014, semble en effet confirmer l'emploi en *stand-off* des Apache AH-64D couplés aux drones MQ-1C Grey Eagle pour traiter les centres urbains, en l'intégrant directement dans son design comme plateforme de guerre électronique rapide et furtive mais surtout distante. De la même manière, pour constituer la capacité CS-3 et remplacer les hélicoptères de manœuvre UH-60, l'*US Army* semble opter pour des appareils aux capacités proches des voilures fixes qui apparaissent insuffisamment flexibles pour de l'engagement continu à très courte portée. Les performances annoncées du V280 Valor (Bell) ou de son concurrent le SB-1 Defiant (Boeing-Sikorsky) – respectivement 926 km de portée avec une vitesse maximale de 518 km/h et entre 424 et 833 km de portée pour une vitesse de 463 km/h – rectifient certes le défaut en termes de vitesse imputée aux hélicoptères. Cependant, pris dans leur ensemble, les propositions du programme FVL n'adressent

plus la question du sur-sol qui nécessiterait des appareils moins rapides pour discriminer les cibles mais plus agiles pour pouvoir manœuvrer et s'abriter dans les replis urbains. Les appareils considérés par le FLV semblent, au contraire, par leur sophistication et leur coût, constituer une capacité opérationnelle limitée, envisagée dans une fonction de « *force multiplier* » de systèmes, quant à eux plus rustiques à employer directement dans la zone urbaine mais qui manquent justement. Les nouveaux modèles d'ADAVEs, compactes et potentiellement consommables, paraîtraient alors dans cette perspective tous indiqués.

Le 25 février 2020, l'*US Air Force* initiait ainsi la première ICO (*Innovative Capabilities Opening*) de son programme Agility Prime pour la sélection d'un Aéronef à Décollage Vertical à propulsion et motorisation électrique ou hybride dans l'objectif de constituer une flotte opérationnelle à l'horizon 2023<sup>26</sup>. Assez classiquement, l'*US Air Force*, désormais rejointe en mars par le projet d'*Unmanned Logistics Support Air* (ULS-A) du Corps des *Marines*<sup>27</sup>, cherche à capitaliser sur les avancées de l'industrie civile dont elle reprend les critères techniques et sa vision d'une flotte configurée en trois gammes d'appareils articulées autour des trois missions « cœur » de l'hélicoptère civil : navettes, taxi et potentiellement transport individualisé de VIP. En janvier 2018, l'*Aeronautics Research mission Directorate* de la NASA pouvait ainsi proposer sur une base de densité énergétique des batteries établies à 400 Wh/kg :

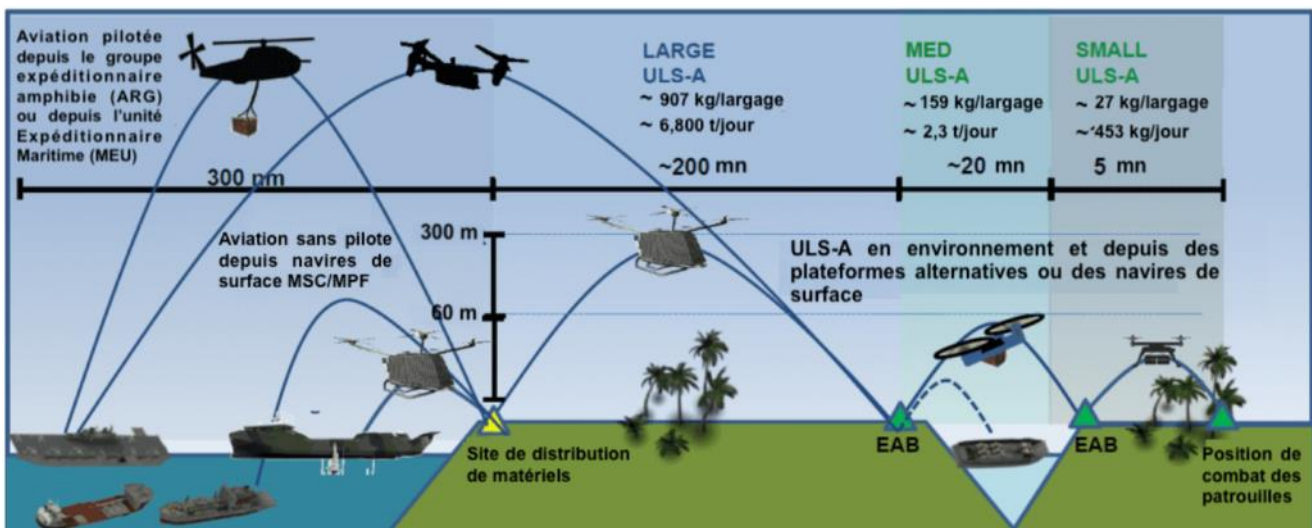
- ◆ Le concept d'un *Air Metro* de 15 passagers, avec 740 km d'autonomie, 1,3 tonne de charge utile, à la voilure basculante et à propulsion turboélectrique.
- ◆ Le concept d'un *Air Taxi* de 6 passagers, avec 544,31 kg de charge utile pour une autonomie de 370 km, à la motorisation hybride et propulsée par tilt-rotor.
- ◆ Le concept d'un quad-rotor avec un seul passager, bénéficiant d'une batterie de 49 kWh pour 93 km d'autonomie et 113,4 kg de charge utile, à la propulsion électrique seule.

Le service d'acquisition de l'*US Air Force* a ainsi communiqué en avril 2020 trois « *Area Of Interest* » (AOI) ou alternative-ment désignées comme trois *Air Race* d'appareils ADAMEs, appelés « ORB », dotés d'un financement annuel de 25 millions de dollars et qui sont sensiblement identiques à la configuration de la NASA<sup>28</sup> :





- ◆ Une « ORB » moyenne (AOI-1) : capable de transporter 8 passagers sur plus de 160 km à 160km/h. Les sociétés Jobby Aviation et Beta Technologies ont vu leurs appareils sélectionnés, respectivement le S-4 et l'AvaXC, puis progressés jusqu'à la troisième phase de certification qui offre à ces entreprises l'expertise technique et les instruments de test de l'*US Air Force* pour améliorer leurs véhicules<sup>29</sup>.
- ◆ Une « ORB » légère (AOI-2) : capable de transporter 1 à 2 passagers, sur plus de 16 km pour une vitesse d'au moins 72 km/h.
- ◆ Une « ORB » lourde (AOI-3) : un drone « cargo » d'une charge maximale au décollage de 598 kg pour une charge utile de 226 kg, capable d'opérer dans un rayon d'action de 322 km à une vitesse supérieure à 161 km/h pendant au moins 100 minutes.

Le *Logistics Innovation Office* des *Marines* reprend cette configuration en trois familles d'appareils dronisés qu'il assigne à la « distribution tactique dans l'espace de bataille », envisagée dans le cadre du concept EABO des Bases d'Opérations Expéditionnaires Avancées<sup>30</sup>. Cette initiative s'inscrit à la suite de l'intérêt manifesté par le Corps des *Marines* pour la dronisation d'hélicoptère-cargo, d'abord en 2011 par l'acquisition de deux appareils K-MAX sans pilote qui ont opéré pendant 3 ans en Afghanistan<sup>31</sup> puis par le développement du kit « *Autonomous Aerial Cargo/Utility System* » (AACUS) mené par l'*Office of Naval Research* en 2014 et qui permettait d'automatiser d'anciens modèles d'hélicoptères de type « utilitaire » à l'instar d'un UH-1.

#### Vision du *Marine Corps Warfighting Lab* sur le soutien d'ADAVEs aux opérations expéditionnaires



Source : Brian Garrett-Glaser, « *Marine Corps Partners With Air Force, Agility Prime On eVTOL Aircraft For Logistics* », *Avionics International*, 10 mars 2020

Système ULS-A	Exigences minimales	Description	Capacité opérationnelle désirée
<b>Large ULS-A</b> Dimensionné pour le ravitaillement & le ravitaillement à l'échelon compagnie/EABO 	<ul style="list-style-type: none"> <li>453 kg-1360 kg de charge utile</li> <li>280 à 555 km de portée de combat</li> <li>Une capacité journalière de 6803 kg - 13, 600 t par système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logistique et potentiellement transport de 4 à 8 personnels</li> <li>Automatisé et Autonome (sans pilote)</li> <li>Opération depuis de zones de posée austères réduites et des petits navires au faible besoin en personnel.</li> <li>Une alternative low-cost à l'aviation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacité Opérationnelle initiale en 2023</li> <li>Capacité Opérationnelle complète en 2030</li> </ul>
<b>Medium ULS-A</b> Dimensionné pour le ravitaillement à l'échelon peloton/intra-EABO 	<ul style="list-style-type: none"> <li>136 kg-226 kg de charge utile</li> <li>35 à 200 km de portée</li> <li>Une capacité journalière de 1360 kg - 2 270 kg par système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logistique et potentiellement une capacité limitée de CASEVA/d'extraction d'urgence (1-2 personnels)</li> <li>Automatisé et Autonome (sans pilote)</li> <li>Opéré et contrôlé par le personnel de la logistique en coordination avec le CZ Aviation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Joint Capability Technology Demonstration (JCTD) jusqu'en 2021 </li> <li>Capacité Opérationnelle initiale en 2025</li> <li>Capacité Opérationnelle complète en 2030</li> </ul>
<b>Petit ULS-A</b> Dimensionné pour le ravitaillement et la redistribution à l'échelon de l'escouade sur les sites EABO 	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 kg-68 kg</li> <li>10 à 20 km de portée</li> <li>Une capacité journalière de 453 kg par système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logistique organique pour toute unité terrestre. Fortement automatisé pour permettre son utilisation simple par une large gamme d'utilisateurs.</li> <li>Procure des routines de redistribution du ravitaillement de façon émergente.</li> <li>Appareil couteux à sursis de la compagnie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacité Opérationnelle initiale en 2023</li> <li>Capacité Opérationnelle complète en 2026</li> </ul>

Les systèmes présentés sont expérimentales et ne sont pas « représentatifs » d'une capacité

Source : Brian Garrett-Glaser, op.cit., 10 mars 2020

### L'élaboration des standards de l'industrie eVTOL : l'ascendant des critères Uber-NASA

Cette configuration des ADAVEs en trois gammes d'appareils ainsi que leurs caractéristiques techniques envisagées, remontent aux standards élaborés de 2007 à 2012 par les instituts de recherche aérospatiale européens et américains à travers des projets tels que le PPlane de l'ONERA (2009-2012)<sup>32</sup> et le myCopter du Max Planck Institute (2009-2014)<sup>33</sup> ainsi que par la tenue de conférences coparrainées par la NASA, telles que *Aviation Unleashed* en 2010, et « Comment préparer l'avenir » à Bruxelles en octobre 2012. Cette période avait alors donné lieu à un premier intérêt militaire avec le lancement par la DARPA américaine en 2014 du programme *VTOL X-Plane*, clôt en 2018, malgré la création d'un démonstrateur avancé, le *XV-24A Lightning Strike* par Aurora Science<sup>34</sup>.

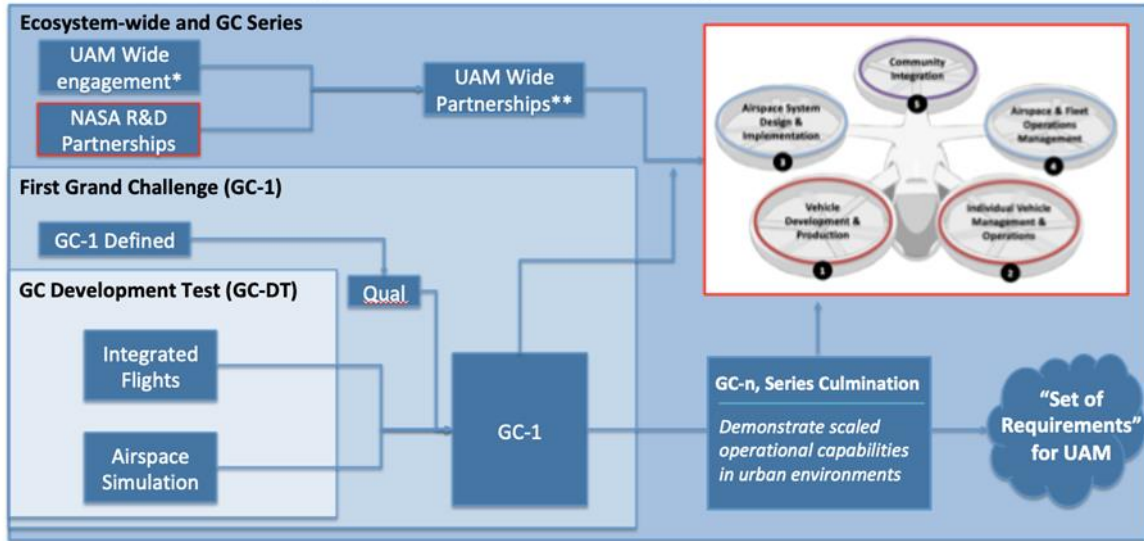
Cependant, la « Révolution » ADAVE actuelle a pris les traits de la société qui a véritablement lancé son coup d'envoi en 2016 : Uber, par son livre blanc « *Fast Forwarding to the future on-demand urban air transportation* »<sup>35</sup>. Avant d'incarner un nouveau produit industriel qu'il s'agit d'évaluer à l'aune de ses performances techniques vis-à-vis des catégories d'appareils existants, drones ou hélicoptères, les ADAVEs doivent se comprendre d'abord comme un nouveau système d'exploitation de la mobilité, « ubérisé » pour ainsi dire, selon un écosystème de type prestataires de services déportés et à la demande labellisée *On Demand Mobility* (ODM). Chaque année depuis 2017, Uber réunit ainsi lors d'une conférence les acteurs du secteur et publie à la conclusion de celle-ci une mise à jour de son livre blanc qui définit les critères d'éligibilité à son écosystème, eux-mêmes reprenant en grande partie les principes développés au cours des années 2007-2012. Dans ce modèle, c'est bien le besoin ou le concept commercial qui encourage les solutions technologiques et industrielles et qui cherche aujourd'hui à façonner

voire à créer le cadre juridique de leur utilisation. Uber a ainsi veillé à associer étroitement sa démarche *Elevate* avec le programme ODM de la branche aéronautique de la NASA<sup>36</sup>, lancé en 2017 conjointement à la signature d'un *Space Act Agreement* entre les deux entités, renouvelé depuis tous les ans<sup>37</sup>.

La NASA a ainsi adopté une approche collaborative : « Construire, Explorer et Apprendre » où elle se restreint à un rôle de conseiller scientifique avec la production de rapports d'avancement techniques, d'études de marché et de mise à disposition d'outils de simulation. Cette démarche de la NASA culmine aujourd'hui avec le lancement de l'*UAM Grand Challenge*, remplacé depuis le 23 mars 2020, par l'*Advanced Air Mobility National Campaign*, qui propose d'associer à son effort de recherche les constructeurs d'ADAVEs par un programme de tests sur quatre ans, à la fois en simulation mais aussi par des expérimentations en environnements urbains réalistes. L'objectif est ainsi de sélectionner les designs d'ADAVEs les plus prometteurs, d'identifier les futurs besoins technologiques et d'établir *in fine* une codification des standards à même de permettre une certification par les autorités de régulation (*ULM-4 Book of Requirements*). La première phase, GC-DT (*Grand Challenge – Developmental Testing*) courant jusqu'à fin 2020, sélectionnera 3 à 4 appareils<sup>38</sup>. Elle cherchera à évaluer l'impact de ces appareils sur l'espace aérien existant et à identifier les différentes architectures de gestion du trafic leur permettant de s'y intégrer. Cette première phase permettra de conceptualiser les différents scénarios-tests de la seconde phase, le « challenge » lui-même : GC-1, à la mi- 2022.

Le lancement du programme, le 1er novembre 2018, a vu la participation de plus de 140 entreprises, dont notamment Airbus, Boeing et Bell. Plus de 65 d'entre elles ont répondu à la *Request for Information – RFI*<sup>39</sup>. Deux ans plus tard, la NASA a établi des *Space Act Agreements* avec 17 entreprises.

Aperçu des partenariats et des étapes du « Grand Challenge »



\*Continue to work future GC definition through collaborative partnership workshops

\*\* NASA recognizes it will not be involved in all UAM wide partnership activities

Source : NASA, 27 août 2019

Etapes calendaires

GC Series	FY2019					FY2020					FY2021					FY2022											
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Development Test																											
GC-1																											

Seule Joby Aviation participe pour l'instant au segment « Development Flight Testing » en fournissant dès maintenant un véhicule destiné à être testé en vol dans de multiples scénarios. 11 entreprises, dont Uber Technologies, testent quant à elles, dans le cadre du segment « Developmental Airspace Simulation », leurs outils de gestion du trafic aérien. Enfin, 4 entreprises dont Bell et Boeing échangent au sein du segment « Vehicle Provider Information Exchange » des informations techniques en préparation d'un vol de test pour le GC-1<sup>40</sup>.

Les critères actuels UBER-NASA sont pour l'instant définis comme suit :

- ◆ Un Vertical Take-Off and Landing vehicle (VTOL), ADAV en français. L'aéronef, pour pouvoir réaliser une mobilité « déportée », c'est-à-dire « à la demande » et « libre de friction », donc sans être restreinte par les infrastructures et le trafic usuel, se doit de pouvoir à la fois atteindre une vitesse de croisière entre 200 et 300 km/heure (150-200 mph), tout en devant se poser et décoller dans des espaces réduits en moins d'une minute. Il devra pouvoir transporter de 3 à 4 passagers pour une charge utile totale avec bagages de 440 kg. Sa taille ne devra pas excéder 15 m<sup>2</sup>.
- ◆ Tout électrique, propulsion et motorisation : une densité énergétique des batteries évaluée à 400 Wh/kg, un taux de charge et de décharge de 3C, soit de quelques 600 kW pour une autonomie de 3 heures avec 3 minutes de chargement des batteries.

- ◆ Sécurité et pilotage : les appareils seront *in fine* automatisés mais devront être en adéquation avec la catégorie des « avions civils légers » couverte par la partie 23 de la Federal Aviation Administration (FAA) et la partie CS-23 de l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (EASA) ou alternativement répondre de la catégorie des hélicoptère de la partie 27 du FAA et CS-27 de l'EASA. Première conséquence de la législation, un pilote certifié à bord des ADAVEs sera nécessaire en attendant éventuellement de développer une nouvelle catégorie de standards de sécurité plus accommodante envers les caractéristiques uniques des ADAVEs.
- ◆ Pollution Sonore : les nuisances sonores des ADAVE utilisés à partir de vertiports / vertistops devront se rapprocher de la moitié du niveau sonore d'un camion circulant sur une route résidentielle (75-80 dB à 15 mètres), soit environ 62 dB à 152 mètres de hauteur par rapport sol (0,25 fois le bruit du plus petit hélicoptère à quatre places actuellement sur le marché). Uber parle d'une signature acoustique d'au moins 15 dB moins élevée que les hélicoptères légers sur le marché. Sur le court terme, cela se traduit prosaïquement par une augmentation des réveils nocturnes due à l'activité qui doit être maintenue en dessous des 5%. Sur le long terme, pour ne pas être une nuisance supplémentaire, il serait souhaitable que les opérations ADAVEs n'augmentent pas le « bruit de fond » détectable par une personne, soit ne pas dépasser 1 dB supplémentaire par rapport à l'indicateur Day Night Level (DNL).



- ◆ Infrastructures : le développement de Vertiports possédant plusieurs pads de décollage/atterrissage, chacun doté de capacités de recharge, complétés de Vertistops constitués d'1 pad.

### Les principaux défis technologiques : un design encore immature d'un « Tout Électrique » encore trop limité

En termes de gestion du trafic aérien, les investissements structurels devront certes être lourds – aux systèmes actifs de géolocalisation par GPS et de « détection et d'évitement », devra être combiné un système passif de détection des appareils par triangulation ou par réflexions électromagnétiques – mais leur redondance et leur maturité technique permettront sûrement de dépasser la limitation actuelle des bandes à haute fréquence qui requièrent une communication en visibilité directe entre récepteur et émetteur. Le plus surprenant se révèle être le domaine de la législation qui depuis moins de deux ans a connu de rapides transformations pour ménager le statut des ADAVEs. Des principaux obstacles à la réalisation des eVTOLs ou ADAVEs, deux demeurent : l'optimisation du design et celui des batteries électriques.

#### Les inconnus du lithium-ion

Une des raisons principales pour laquelle la « Révolution eVTOL » pense pouvoir se réaliser et être acceptée par le législateur, comme le consommateur, est son argument « vert » du tout électrique. Cependant, celui-ci ne semble pas capable à l'aide de la technologie lithium-ion de permettre une charge d'emport suffisante pour les applications plus lourdes des ADAVEs de type *Air Metro* et, encore moins, pour celles militaires, en dehors de petits drones logistiques peu durants. Plusieurs critères sont à prendre en compte.

- ◆ La densité énergétique des batteries, soit le rapport entre la capacité énergétique de la batterie et la masse qui lui est nécessaire pour la générer, tout en prenant en compte le fait que plus une batterie « dure », gage d'autonomie, moins elle est « puissante » en termes d'énergie délivrée. Or, les ADAVEs demandent les deux à la fois. C'est pourquoi tout l'enjeu aujourd'hui est de pouvoir atteindre et dépasser une densité de 400 Wh/kg, alors que la moyenne des batteries Li-ion s'établit à 200 Wh/kg. Cette densité, suffisante pour un trajet de 30 minutes, demeure insuffisante pour la législation et la sécurité qui en demandent le double. Les constructeurs tablent sur une augmentation de 8% par an de la densité énergétique du Li-ion pour atteindre cet objectif, les plus conservateurs avançant une autonomie de 90-100 km en 2025, contre 50 km aujourd'hui (NASA et Aurora flight Science en 2018<sup>41</sup>), bien que certains soulignent déjà pouvoir atteindre les 100 km. Bell le fait avec un moteur hybride et le producteur de batterie Sion Power, associé à Airbus, annonce déjà une batterie de 500 Wh/kg<sup>42</sup>. Là encore, atteindre 400 Wh/Kg ne signifierait pas une équivalence de performances avec les carburants traditionnels, seulement la possibilité de faire fonctionner un appareil selon les critères UBER-NASA. En termes de performances énergétiques à égalité avec le gazoil, la densité

minimale requise d'une batterie électrique serait de l'ordre des 500-600 Wh/kg<sup>43</sup>. Or, les progrès jusqu'ici enregistrés dans la technologie des batteries électriques ont été largement dus à l'industrie automotrice. Atteignant les 350-400 Wh/kg de densité énergétique, la voiture n'a tout simplement pas besoin d'une optimisation supplémentaire du rapport énergie/poids des batteries qu'elle emploie. Le dernier segment de croissance de la densité énergétique (des 500 à 600 Wh/kg), n'incarne pas ainsi à court terme un impératif industriel pour le développement des ADAVEs urbains civils, qui auront déjà à charge le poids de la recherche et du développement du segment des 300 à 400 Wh/kg. À long terme, ce dernier segment à 600 Wh/kg pourrait se révéler déterminant pour le transport tout-électrique interurbain et pour concrétiser des applications militaires.

- ◆ La capacité de charge et de décharge des batteries : pour réaliser une offre « à la demande », la capacité de décharge et de chargement de la batterie se doit d'être réactive et continue pour ne pas dépasser les 16 minutes de « plein » prévues par Uber, soit répondre à une norme dite des « 3C ». C'est trois fois la capacité nominale de chaque cellule électrique à se charger et à se décharger et implique donc une usure importante de la batterie dans son ensemble. Il faut également prendre en compte l'absence d'équation de distance « Breguet » : une batterie ne s'allège pas au fur et à mesure de sa consommation au contraire des carburants classiques avec autant de perte de masse utile pour l'appareil.
- ◆ Le « coût » de l'énergie : il est estimé que les 100 \$/kWh sont la cible à atteindre pour garantir la parité avec les véhicules thermiques. Or, en 2016, malgré des baisses importantes, les batteries Li-ion étaient encore évaluées à 273 \$/kWh. Ce problème d'accessibilité des batteries lithium-ion se voit compliqué par le monopole asiatique des ressources nécessaires en « terres rares » pour les fabriquer, ce qui rend la filière ADAVE particulièrement vulnérable aux tensions géopolitiques.

Une solution alternative et « propre » existe avec l'hydrogène bien qu'il pose d'importants problèmes de sécurité et de ravitaillement des infrastructures. L'entreprise Hypoint propose ainsi une pile à combustion d'une densité énergétique de 530 Wh/kg et développe une « *turbo air-cooled fuel cell* » où l'air est comprimé par une conduite d'air pour mieux refroidir la pile, qui devrait ainsi atteindre quelques 960 Wh/kg de densité énergétique<sup>44</sup>.

#### Un design encore embryonnaire

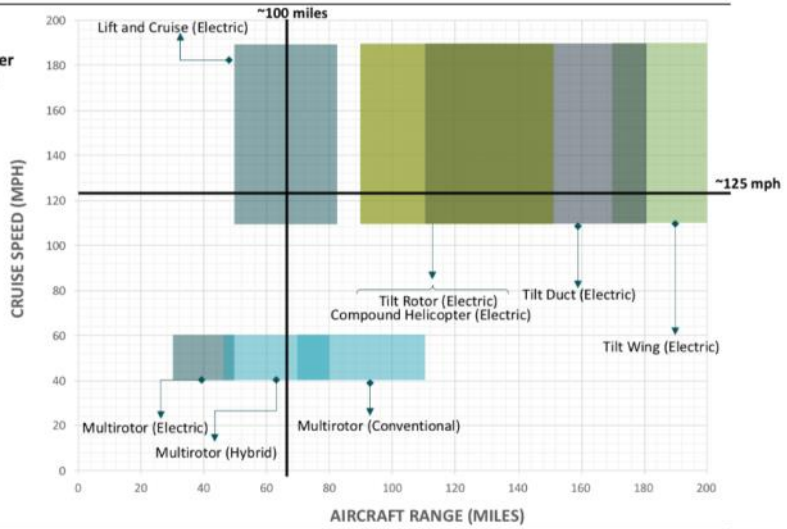
Deuxième point, le choix du design n'est pas encore stabilisé. Il en existe 4 à 5 types différents. Ceux à poussée orientable (*vectored thrust*) ou tiltrotors, ceux à sustentation et vol horizontal (*lift + cruise*), ceux sans voilures ou multicoptères (*Wingless – Multicopter*), les hélicoptères tout électrique (*electric rotorcraft*) et, enfin, les divers designs dits « hybrides ». Le compromis technique est le suivant : les multicoptères, quadcoptères, hélicoptères utilisent leur propulsion verticale pour se mouvoir en avant alors que les tiltrotors et autres aéronefs convertibles spécialisent leur

**Aircraft Classification**

**LA PLUPART DES DESIGNS D'AÉRONEFS PROPOSÉS SONT PLUS RAPIDES QUE CEUX DES HÉLIOPÈTÈRES CONVENTIONNELLS**

- Hybrid and conventional powered vehicles usually have **higher range**
- All electric aircraft except Multirotor have **higher speed** than conventional helicopters of similar category

	Classification	MIN CRUISE SPEED (mph)	MAX CRUISE SPEED (mph)	MIN RANGE (miles)	MAX RANGE (miles)
Electric	Multirotor	40	60	30	50
	Tilt Rotor	110	190	90	150
	Lift and Cruise	110	190	50	80
	Tilt Wing	110	190	170	290
	Tilt duct	110	190	110	180
Hybrid	Compound Helicopter	110	190	90	150
	Multirotor	40	60	50	80
Conv.	Tilt Rotor	110	190	1040	1730
	Multirotor	40	60	70	110
	Helicopter	80	130	330	550

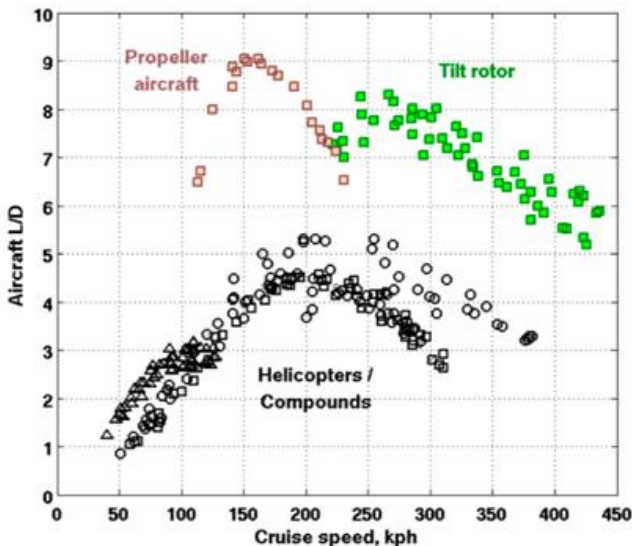


Source : Booz, Allen, Hamilton Inc. , « UAM Market Study – Technical Out Brief », National Aeronautics and Space Administration – Aeronautics Research Mission Directorate, 19 octobre 2018, p. 162

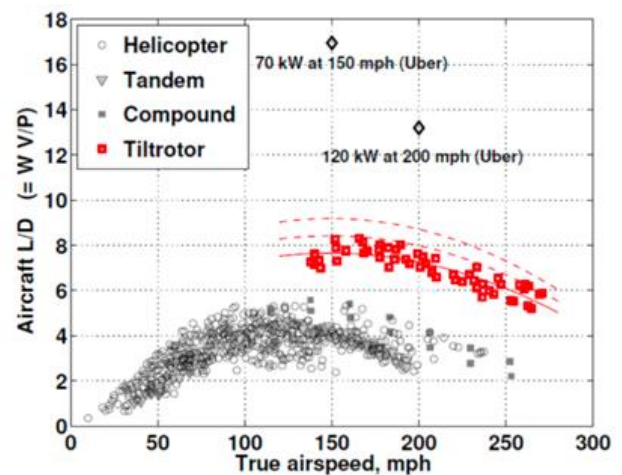
méthode de propulsion selon les phases de décollage, d'atterrissage et de vol. Si le premier design assure une « poussée » plus forte et procure donc un comportement plus stable à l'appareil, gage de sécurité, il est moins performant en termes de vitesse de déplacement horizontal. Il semble, par conséquent, le choix idéal pour l'aéromobilité intra-urbaine sur les distances les plus courtes de type Air-Taxis. Le second design est le reflet inversé du précédent : son efficacité en vol stationnaire est moins grande mais il évolue plus vite une fois en vol horizontal bien qu'il génère plus de bruit et nécessitera donc des infrastructures plus conséquentes pour son atterrissage et décollage. Il semble ainsi plus à même d'incarner le design des services de navettes entre les aéroports et les centres urbains, des *Air Metros*, voire pour des trajets inter-cités.

La performance de ces designs s'évalue en termes de charge et de finesse des rotors (*lift to drag ratio*) de l'appareil. Selon une étude de faisabilité commandée par la *Vertical Flight Society* et la NASA en 2018<sup>45</sup>, les critères d'Uber sont irréalistes en l'état actuel, à moins d'un allègement de la masse des aéronefs de 10 à 20% et une amélioration de la finesse des rotors. En effet, un tiltrotors à 350 km/h aura une finesse 7, un hélicoptère à 200 km/h obtiendra une finesse 5. Or, selon les critères d'Uber, les aéronefs devront atteindre une finesse de 13 à 17 pour les vitesses envisagées ce qui, en termes de performances, n'est pour l'instant atteint que par des aéronefs classiques en configuration tube et ailes tels que les appareils : A320 et B737.

**Mesure des performances de croisière rapportée à la finesse des aéronefs (L/D)**



**Rapport de finesse des aéronefs à hélice**



Source : Op.cit, Anubhay Datta, 2018, pp.22-23

Les promesses des Aéronefs à Décollage Vertical Electriques sont celles finalement de l'hélicoptère en ville dont ils assument être la version propre, silencieuse, moins chère et plus sûre. Ils risquent cependant de reproduire les mêmes travers par le gigantisme des flottes d'appareils envisagées pour réaliser les économies d'échelle et nourrir l'innovation technologique vitale à l'optimisation de leurs performances techniques. À titre de comparaison, le crash d'un seul hélicoptère Sikorsky en 1977 à New York avait suffi à geler, voire à condamner, l'essor du marché du transport aérien intra-urbain.

Si les ADAVEs réussissaient à respecter le même standard de sécurité qu'un avion classique – une défaillance par million d'heures de vol – ils s'exposeraient, une fois rapporté au volume d'opérations prévues pour être rentable, soit quelques 50 000 aéronefs volant 3 000 heures par an, à plus de 150 accidents annuels. La stratégie d'Uber, d'un abaissement de ces standards de sécurité pour rendre l'industrie viable, fissure déjà son projet Elevate. Les constructeurs, avec en chef de file Bell, non-satisfaits d'être réduits à la production du *hardware* des écosystèmes de mobilité à la demande, ont saisi l'argument de la fiabilité des machines pour proposer leur propre infrastructure digitale, à l'instar de l'application AerOS de Bell, présentée au CES de 2020<sup>46</sup>.

Alors que beaucoup s'inquiétait déjà d'une bulle spéculative, le brutal coup d'arrêt porté à l'économie par la crise du COVID-19 risque de priver ce marché d'une partie des investissements de l'industrie aéronautique. Le soutien de la puissance publique américaine, à travers le programme de la NASA et maintenant de l'*US Air Force*, apparaît déterminant à double titre, d'abord pour préserver cette industrie naissante de la conjoncture dégradée, mais surtout pour assurer sa transformation de marché pour VIP en véritable service de masse aux applications collectives. Les orientations de la NASA révèlent qu'au-delà d'une certaine superficialité, l'investissement de la troisième dimension par des appareils ADAVEs, pour désenclaver les centres urbains, représente une solution crédible pour la fin de la prochaine décennie.

Les programmes militaires de l'*US Air Force* et des *Marines* démontrent quant à eux, que le besoin d'aéronefs compacts, agiles et potentiellement consommables sous une forme dronisée pour manœuvrer dans les « canyons urbains » n'est pas redondant ni concurrent avec les programmes de revalorisation de l'aéromobilité mais qu'au contraire, ils en incarnent le segment complémentaire pour répondre avec agilité aux situations d'imbrications tactiques. La Révolution « eVTOL » impulsée par *Uber* peut ainsi éclater ; ses applications civiles comme militaires apparaissent aussi réelles qu'essentielles.

**VINCENT TOURRET**  
Chargé de recherche, FR5

## Notes

1. Uber, « Fast Forwarding to the future on-demand, urban air transportation », *Uber Elevate White Paper*, 27 octobre 2016.
2. Commission européenne, « Commission launches innovation partnership for Smart Cities and Communities », communiqué de presse, 10 juillet 2012.
3. Porsche Consulting, « The Future of Vertical Mobility. A Porsche Consulting Study », 2018.
4. Kenneth Swartz, « The Electric VTOL Revolution », *The Vertical Flight Society*, mars 2018.
5. Joby Press release, « Joby Aviation Unveils S4 », *eVTOL News*, 15 janvier 2020.
6. Olivier Ezratty, « La bulle des drones de passagers », *French Web*, 21 février 2019.
7. Brian Garrett-Glaser, « South Korea Plans to Launch Air Taxi Service by 2025. Will Hyundai Be Ready ? », *Avionics International*, 8 Juin 2020.
8. Porsche Consulting, *Op. cit.*, 2018.
9. Nexa Advisors, « Urban Air Mobility – Economics and Global Market », été 2019.
10. Booz Allen Hamilton, « Urban Air Mobility (UAM) Market Study », *NASA Urban Air Mobility*, 21 novembre 2018.
11. Crown Consulting, « Urban Air Mobility (UAM) Market Study », *NASA Urban Air Mobility*, novembre 2018.
12. Martin J. Murray, « The Urbanism of Exception. The Dynamics of Global City Building in the Twenty-First Century », *Cambridge University Press*, 10 mars 2017 et Neil Brenner and Christian Schmid, « The 'Urban Age' in Question », dans Neil Brenner « Implosions/Explosions: Towards a Study of Planetary Urbanism », Berlin, Jovis, 2014, pp. 310-337.
13. UN Department of Economic and Social Affairs, « World Urbanization Prospects: The 2014 Revision – Highlights », New York, 2014, p. 1 et US Army, Chief of Staff of the Army, Strategic Studies Group, Megacities Concept Team, « Megacities and the United States Army: Preparing for a Complex and Uncertain Future », Arlington, June 2014.
14. Avant, bien entendu, les effets de la crise sanitaire du COVID-19.
15. INRIX, « 2018 Global Traffic Scorecard », – <http://inrix.com/scorecard/>, Voir aussi : Federico Guerrini, « Traffic Congestion Costs Americans \$124 Billion A Year, Report Says », *Forbes*, 14 octobre 2014.
16. Saulo B. Cwerner, « Vertical Flight and Urban Mobilities: The promises and reality of helicopter travel », *Mobilities*, 22 août 2006.
17. Alba Santandreu, « Low-cost helicopters, a growing transport segment in Sao Paulo », *Efe-epa*, octobre 2017.
18. Les Dossier AAE, « Le transport de passagers par appareils à voilure tournante à l'horizon 2050 », *Académie de l'Air et de l'Espace (AAE)*, dossier n°44, 2018, pp. 16-17.
19. Dan Parsons, « Mission accomplished : Airbus helicopter hailing service Voom closes down », *eVTOL*, 31 mars 2020.
20. Colonel Michel Dorandeu, EMAT/B Plans, « L'aéromobilité et la continuité de l'action aéroterrestre », *Doctrine Tactique n°22 Revue d'études générales*, 2011.

21. La doctrine française en l'espèce, si elle maintient la mission de destruction dans la profondeur pour un aérocombat autonome, semble incarner plus de « différence d'échelle » que de nature avec l'*Interdiction Attack* américaine, voir État-Major de l'armée de Terre, « ALAT 10.0001 - Concept des forces aéromobiles au sein de l'armée de Terre », février 2011, in Etienne de Durand, Benoit Michel, Elie Tenenbaum, « La guerre des hélicoptères - L'avenir de l'aéromobilité et de l'aérocombat », IFRI, juin 2011.
22. CDEF, « Les Fantômes Furieux de Falloujah – Opération Al-Fajr/Phantom Fury (juillet-novembre 2004) », *Cahiers du Re-tex*, 11 avril 2006.
23. Sous-lieutenants G. Rolland et A. Tisseron, « L'emploi des hélicoptères en contre-insurrection – quels enjeux pour quels menaces ? », *Cahiers de la Recherche Doctrinale*, CDEF, 18 janvier 2012.
24. *Ibid*, p 34.
25. Mark Pomerleau, « The next key to the Army network : air-ground integration », *C4ISRNET*, 15 juin 2019.
26. Brian Garrett-Glaser, « Air Force Announces Virtual Kickoff for Agility Prime's Air Race to Certification », *Avionics International*, 28 avril 2020.
27. Brian Garrett-Glaser, « Marine Corps Partners with Air Force Agility Prime on eVTOL Aircraft for logistics », *Avionics International*, 10 mars 2020.
28. Theresa Hitchen, « Air Force Pushes Ahead on Flying Car Challenge », *Breaking Defense*, 21 février 2020.
29. Dan Parsons, « U.S Air Force wants 30 eVTOLs carrying cargo, passengers », *Verticalmag*, 30 avril 2020.
30. Brian Garrett-Glaser, « Marine Corps Partners With Air Force, Agility Prime On eVTOL Aircraft For Logistics », *Avionics International*, 10 mars 2020.
31. Alex Davis, « The Marines' Self-Flying Chopper Survives a Three-Year Tour », *Wired*, 30 Juillet 2014.
32. Un aéronef non ADAVE mais tout électrique : 6 moteurs électriques intégrés au fuselage, propulsion à l'aide de soufflantes carénées électriques, d'une capacité de 5 à 6 passagers et télé-opéré au sol. Commission européenne, « PPlane project », *Seven Framework Programme (FP7)*, <http://www.pplane-project.org>. Clause le Tallec, « Pioneering Concepts for Personal Air Transport System. PPlane project, Ampere project, Hybrid electrical propulsion study », <http://www.nianet.org>.
33. *Max Plank Institute*, « Mycopter », <http://www.mycopter.eu/home.html>.
34. Graham Warwick, « Darpa pulls Plug On Aurora's Hybrid-Electric VTOL X-Plane », *Aviation Week*, 24 avril 2018.
35. Uber, « Fast Forwarding to the future on-demand, urban air transportation », *Uber Elevate White Paper*, 27 octobre 2016.
36. NASA, *NASA Strategic Framework for On-Demand Air Mobility. A Report for NASA Headquarters Aeronautics Research Mission Directorate*, 26 janvier 2017.
37. NASA « List of Active Space Act Agreements (as of June 30, 2019) with Domestic Commercial, State Local Government, and Non-profit Partners », NASA, 30.6.2019.
38. Brian Garrett-Glaser, « NASA Launches Urban Air Mobility Grand Challenge Program », *Aviation Today*, 30 Août 2019.
39. Tulinda Larsen, « UAM Insight 10 September 2019 – NASA Launches UAM Grand Challenge », *airinsight.com*, 10 septembre 2019.
40. Lillian Gipson, « Grand Challenge Developmental Testing Partners », NASA, 3 mars 2020, et J.D Harrington, « NASA's Urban Air Mobility Grand Challenge Advances with Agreement Signings », NASA, 3 mars 2020.
41. Graham Warwick, « Electrification will take different forms across aviation sectors », *Aviation Week & Space Technology*, 10 août 2018, propos recueillis de Brian Yutko, vice-président du département recherche et développement d'Aurora Flight Sciences.
42. Olivier Franklin-Wallis, « The Battery to power Uber's flying car dreams doesn't exist (yet) », *WIRED on Energy*, 2 août 2018.
43. Roland Berger, « Aircraft Electrical Propulsion – Onwards and Upwards », *Think-Act*, 2018.
44. Brian Garrett-Glaser, « Will Hydrogen Fuel Cells Play a Role in the VTOL Revolution », *Avionics International*, 16 avril 2020 et pour la science fondamentale, lire M. Husemann, C. Glaser et E. Stumpf, *Assessment of a Fuel Cell Powered Air Taxi In Urban Flight Conditions*, Institute of Aerospace Systems, 11 janvier 2019.
45. Anubhav Datta, *Commercial Intra-city On-Demand Electric-VTOL. Status of Technology*, Hs/Nari Transformative Vertical Flight Working Group-2 Report, University of Maryland, 15 janvier 2018.
46. Brian Garrett-Glaser, « Bell Expands Air Taxi Play : AerOS, Digital Infrastructure and All-Electric Nexus », *Avionics International*, 6 janvier 2020.



## Le renouvellement de l'offre russe de systèmes terrestres\*

Chars T55/62/72/90, véhicules de combat d'infanterie (VCI) BMP1/2, véhicules de transport de troupes (VTT) BTR60/70 et pièces d'artillerie de tous calibres équipent les forces de plus de quatre-vingts pays et, en premier lieu, celles de la Russie. Le renouvellement de ces systèmes terrestres représente un enjeu opérationnel majeur pour les forces armées russes ainsi qu'un défi crucial pour la base industrielle et technologique de défense (BITD). Le char T14, le VCI lourd T15, l'automoteur d'artillerie Koalistiya, le VCI moyen Kurganets, le VTT 8x8 Boomerang, les robots de combat ainsi que toute la gamme des systèmes anti-aériens, de frappe dans la profondeur, de guerre électronique et d'armements individuels participent de cet effort. Cette régénération complète ne trouve d'équivalent qu'en Chine, où les matériels modernes de tous types rentrent en service à une cadence soutenue.

### Un développement soutenu par le marché intérieur et l'export

Ce renouvellement de la flotte des blindés russes correspond à deux besoins. Le premier est la remontée en puissance des forces terrestres russes, dont les matériels ont montré de notables insuffisances en Afghanistan, en Tchétchénie, en Géorgie et, récemment, dans l'Est de l'Ukraine et en Syrie. Ces mêmes obsolescences ou insuffisances capacitaires furent aussi notées par les clients étrangers des matériels russes. Cela concerne principalement les protections balistiques face aux mines et engins explosifs improvisés (EEI), les conduites de tir de nuit et l'ergonomie d'emploi.

Le deuxième besoin est celui de l'export car la Russie tient des positions très fortes en Afrique du nord (Algérie, Egypte), en Inde et dans les républiques d'Asie centrale. Or, les blindés de transports BTR et les véhicules de combat d'infanterie BMP sont totalement surclassés par les nouveaux véhicules 8x8 européens, turcs ou asiatiques. Seul le char T90 dans ses versions modernisées possède encore une valeur commerciale reconnue en raison de son prix mais le client export doit accepter de combattre avec un char dont l'architecture de base remonte aux années 1960.

Le calendrier de développement des nouveaux blindés russes correspond à celui du plan de modernisation de l'armée indienne qui recherche un nouveau VCI amphibie, un char de nouvelle génération et un 8x8 de transport de troupes. Le corps blindé mécanisé indien repose sur les BMP1/2, les chars T72 Areya et les T90 produits sous licence. La présence industrielle russe y est très forte et l'Inde a commandé récemment un nouveau lot de 464 chars T90S qui seront produits sous licence.

Dix groupes industriels sont à la manœuvre : Ural Vagon Zavod (UVZ) pour les chars, les automoteurs d'artillerie et les blindés lourds ; Almaz Antey/Kupol pour les systèmes anti-aériens ; KBP pour les systèmes d'arme, les tourelles, les munitions guidées et les missiles ; Kamaz pour les camions tactiques ; Kalashnikov pour les armements individuels, les drones et les robots ; Tecmash/Nimi pour les munitions ; Kurganmash Zavod pour les VCI BMP et les chars légers ; MIC/VPK (Military Industrial Company) pour les blindés à roues ; Burevestnik pour les tourelles, tourelleaux et mortiers et SPLAV pour les LRM. La plupart d'entre eux font partie de la holding Rostec.

### La modernisation des matériels en service

Avant que l'ensemble des nouveaux matériels ne remplacent d'anciennes générations, l'armée russe s'est lancée dans un vaste programme de modernisation qui touche principalement les chars en service. Il faut préciser que l'armée blindée russe possède un capital considérable constitué de 2.300 chars T72, 400 T90 et environ 600 T80. Tout ou partie de ces chars seront portés respectivement aux standards T72-B3M, T90M et T80-BVM avec l'intégration de nouveaux blindages réactifs Relikt, de contre-mesures électromagnétiques Sosna, de caméras thermiques pour le combat de nuit, de nouvelles munitions flèches et explosives programmables et d'amélioration de leur transmission. Les forces terrestres russes ont été confrontées en Géorgie et en Ukraine à une forte attrition de leur flotte de chars. Elles en revinrent avec deux idées maîtresses. Premièrement, et malgré les pertes, le char demeure pour encore longtemps l'engin principal du combat

\*Texte tiré de l'article (mis à jour) "Le renouvellement de la flotte de blindés : un investissement pour moderniser l'armée russe", *RDN*, n°802, été 2017.

terrestre et il peut être engagé pour toutes les phases d'un conflit et, deuxièmement, il faut disposer de réserves de matériels pour tenir dans la durée. Avec plus de 3.000 chars, les Russes peuvent engager un fort premier échelon qui sera soutenu par une réserve significative.

La flotte de VCI et de VTT verra aussi l'implantation de solutions de modernisation sur les BMP, dont la Russie possède un stock d'environ 10.000 exemplaires, et sur les 5.000 BTR 60/70/80. Par cannibalisation d'une partie de ces flottes et par intégration de technologies modernes (caméras thermiques, canons de 30 mm en remplacement des mitrailleuses de 14,5 mm, moteurs plus puissants, contre-mesures) l'armée russe doit pouvoir conserver en service environ 2.500 exemplaires de chaque type de blindés, soit 5.000 véhicules d'infanterie au total. Toutes ces solutions de modernisation sont disponibles pour les utilisateurs export de ces matériels, ce qui constitue autant de débouchés pour l'industrie russe.

### Chenilles, protection multi-couches et armements téléopérés

Ce qui caractérise la nouvelle génération de blindés russes, en rupture totale avec les engins qu'ils vont remplacer, est la combinaison de quatre éléments : une forte augmentation des classes de masse, l'adoption d'armements principaux téléopérés y compris pour le char, l'installation généralisée de systèmes de protection active et, enfin, le recours massif à la chenille, le 8x8 Boomerang étant l'exception qui confirme la règle.

L'accent est mis sur la survivabilité obtenue par une combinaison de technologies dont les blindages, en très forte progression, ne sont qu'une des composantes. Armata T14, VCI lourd T15 et Kurganets sont systématiquement équipés de systèmes de protection *hard kill* et *soft kill* destinés à neutraliser en vol les projectiles ennemis. Les ingénieurs russes furent pionniers dans ces concepts de protection, il y a presque un quart de siècle, et expérimentèrent très tôt certains systèmes comme le Drozd en Afghanistan sur quelques chars T55. Leur système le plus abouti fut l'Arena, une couronne de cassettes explosives à fragmentation ceinturant la tourelle du char et dont le tir, déclenché après détection du missile ou de la roquette ennemie, déchiquetait en vol le projectile assaillant. Shtora fut plus massivement employé tant en Russie que monté sur des chars étrangers, qu'ils soient algériens ou syriens. Shtora est un système de défense électro-optique de brouillage et de dissimulation par fumigènes bande large qui dérouta les conduites de tir des lance-missiles et des chars.

Il ne fait aucun doute que le nouveau système Afghanistan équipe les nouveaux blindés russes tire nombre de solutions et de principes techniques de ces deux systèmes Arena et Shtora qui ouvrirent la voie. Seul Israël est en mesure de concurrencer la Russie avec ses systèmes Iron Fist et Trophy. Le reste du monde apparaît très en retard. La particularité d'Afghanistan est d'additionner les effets *soft kill* et *hard kill* face aux menaces anti-blindés modernes – roquettes de gros calibre, missiles de tous types et munitions intelligentes. Face à

des missiles classiques, l'Afghanistan pourra tirer des grenades à fragmentation dans leur direction pour les intercepter par explosion. Face à des munitions intelligentes ou des missiles à trajectoire plongeante, Afghanistan créera un nuage opaque qui interrompt la ligne de visée tout en tirant des leurres infrarouges pour distraire le capteur de guidage.

### Des masses en croissance

A cette couche de protection active, les concepteurs russes ont ajouté ce qui fait qu'un blindé reste un blindé, la protection balistique. Ce faisant, ils ont visé les meilleurs standards mondiaux. Pour s'en convaincre, il suffit de considérer le VCI T15 qui affiche une cinquantaine de tonnes, ce qui multiplie la masse du BMP qu'il remplace par trois ! Dans cette catégorie d'engins, il n'y a que le Puma allemand et le Namer israélien, à respectivement 43 tonnes et 60 tonnes. Le T15 est protégé par d'épais blindages tant dans l'arc frontal qu'en latéral et sur le toit, ce qui lui permettra d'être engagé en zone complexe comme les quartiers de ville, où il escortera les chars T14. Ces vingt dernières années, les Russes ont accumulé une expérience considérable du combat en zone urbaine et ils améliorent leurs doctrines et tactiques chaque jour en Syrie. Ce recours massif aux engins lourds qui cumulent les couches de protection (*soft kill*, *hard kill* et blindages) doit nous amener à réfléchir sur nos propres choix en matière de classe de blindés et d'architecture système. Avec le quatuor T14, T15, TOS (lanceur de roquettes thermobariques) et Terminator (véhicule d'appui feu rapproché), les forces russes disposent d'une combinaison technique de combat terrestre qui n'a pas d'équivalent ailleurs dans le monde.

Le T15 utilise les éléments de mobilité chenillée du char T14 (moteur Diesel ChTZ 12H360-A-85-3A et boîte de vitesses automatique à 12 rapports), réagencés dans une configuration à groupe motopropulseur avant pour aménager une rampe arrière pour le débarquement des fantassins. Son armement de 30 mm automatique est intégré dans une tourelle téléopérée Burevestnik dotée de viseurs vidéo avec caméras thermiques. Cette tourelle embarque aussi des mitrailleuses et deux rampes doubles de missiles anti-chars. Récemment, le T15 a été présenté avec une tourelle AU-220M de 57 mm, de façon à s'assurer d'une capacité de destruction certaine des VCI occidentaux. Ce passage à la téléopération pour l'armement principal est un pari majeur pour les ingénieurs russes. En effet, il pose le problème de la perception de l'environnement extérieur, tout à la fois lointain et proche, par des moyens exclusivement vidéo. Or, celle-ci n'a pas été totalement acceptée par les opérationnels, au moins dans certains pays occidentaux. Les armées française et britannique ont ainsi exigé que les tourelles de 40CTA des futurs Jaguar et Ajax fussent habitées ; elles refusent le concept de téléopération pour des raisons liées au contact physique nécessaire entre l'équipage et l'extérieur. L'avantage de la formule développée par UVZ est de concentrer l'équipage dans une cellule de survie qui réduit les surfaces à protéger et augmente les niveaux de protection balistique à masse constante. Pour des raisons tactiques et financières, les Russes ne pourront pas remplacer nombre pour

nombre tous leurs BMP par des T15. Aussi ont-ils développé en parallèle le Kurganets, plus léger mais amphibie – une capacité de mobilité tactique que d'autres armées, comme celle de l'Inde, recherchent aussi. Moins cher mais capable d'être déployé en nombre, le Kurganets est dérivé en deux versions, VTT et Poste de Commandement. Il est très reconnaissable grâce aux massifs caissons latéraux qui augmentent le volume immergé pour pouvoir flotter et qui intègrent aussi les couches de blindages.

Outre les plates-formes chenillées T14 et Kurganets, l'infanterie blindée russe pourra compter sur le nouveau 8x8 Boomerang, qui devrait remplacer la famille des BTR dans le rôle de « taxi du champ de bataille » et de « bon à tout faire » avec ses dérivés (poste de commandement, ambulance, guerre électronique, lance-missiles). Le Boomerang fut développé en parallèle du projet franco-russe Atom qui devait voir se rapprocher Renault Trucks Defense (aujourd'hui Arquus) et UVZ dans un ambitieux projet de véhicule de combat d'infanterie à roues armé du système d'arme AU-220M de 57 mm. Les sanctions économiques décidées après l'annexion de la Crimée mirent fin à cette coopération. Le Boomerang bénéficie de l'expérience acquise avec les MRAP Typhoon basés sur le châssis Kamaz pour ce qui est des technologies de protection contre les mines et les EEI.

### Un char à l'architecture révolutionnaire

Avec son canon 2A82-1M de 125 mm, potentiellement remplaçable par un armement de 135 mm dans le futur et sa solution de survivabilité complète, le char T14 Armata<sup>1</sup> a fait l'objet d'analyses techniques poussées de la part de nombreux experts étrangers pour à la fois évaluer ses performances, son potentiel de vente sur les marchés internationaux et son emploi dans un cadre interarmées intégrant le reste des nouveaux blindés. L'engin met en œuvre un système d'arme complet à base de munitions de nouvelle génération monobloc (flèche Vacuum et HE programmable Telnik) et de missiles (3UBK21 *Sprinter*) qui lui donnent une allonge redoutable. Cette dernière peut être un facteur de supériorité en cas de duel dans des espaces très ouverts. Un armement complémentaire à base de mitrailleuses, voire de canons automatiques, lui procure les moyens d'engager tous types de cibles aéroterrestre jusqu'à 6-8 km. L'emploi des radars millimétriques du système de protection active Afghanit en mode détection-suivi de cibles terrestres doit rendre totalement automatique l'engagement de blindés adverses, et ce, par tous les temps. Ces radars AESA bande Ka viennent utilement compléter les deux viseurs jour/nuit montés en tourelle. Cette capacité est absente sur les matériels occidentaux. Les Russes et les Egyptiens ont entamé des discussions sur une éventuelle acquisition de char Armata T14, assortie d'un possible transfert de licence de fabrication venant d'UVZ.

Dernier engin chenillé habité de la panoplie, l'automoteur Koalitsiya 2S35 doit appuyer l'engagement des armes de mêlée dans la profondeur. Il doit normalement remplacer les canons 2S19 de 152 mm montés sur châssis T72 modifiés. Le Koalitsiya emploie un canon de 152 mm 52 calibres capable de tirer des obus à une distance de 40 km. Des obus RAP seraient en développement pour atteindre plus de 60 km.

Le 2S35 peut aussi expédier des obus Krasnopol à guidage laser jusqu'à 25 km. Le chargement d'obus et des charges est automatique, ce qui assurerait une cadence maximale théorique de 8 coups par minute. Bien que prévu à l'origine pour emprunter le même châssis « universel » T14, le 2S35 se contente pour l'instant de rouler avec un châssis modifié de T90, plus simple et moins cher à fabriquer. L'armement d'autodéfense comporte une mitrailleuse de 12,7 mm et des lance-grenades fumigènes. Depuis les « orgues de Staline », le nom donné par les Allemands aux lance-roquettes Katioucha pendant la Seconde Guerre mondiale, les Russes sont devenus experts en lance-roquettes multiples (LRM). Couplé à ces LRM, le Koalitsiya est l'indispensable composante canon d'une artillerie russe toujours à la pointe. Afin de toucher le plus grand nombre possible de clients, le Koalitsiya est aussi proposé en calibre 155 Otan et l'on sait que plusieurs délégations militaires du Moyen-Orient se sont rendues récemment en Russie pour assister à une démonstration de cette version export.

### L'omniprésence des solutions chenillées

T14, T15, Kurganets, Koalitsiya, TOS, Terminator, Tunguska, IMR, BMR-1, BUR constituent une force aux capacités de mobilité tactique homogènes reposant sur un fort attachement à la chenille des forces et des bureaux d'études russes. Les chars et les VCI de la pointe blindée bénéficient en permanence des appuis de l'artillerie, du génie et de la défense sol-air qui ne sont jamais décrochés car tout le monde évolue à la même vitesse. La géographie des régions où la Russie veut conserver une influence est faite de terrains ouverts et urbanisés sur lesquels tout mouvement en toutes saisons et sous toutes les conditions climatiques impose un recours au train de roulement chenillé, rustique, endurant et compact. Ce choix rencontre aussi un très fort écho chez tous les clients traditionnels de matériels russes, Inde en premier.

### Les systèmes d'appui, la carte maîtresse de la panoplie russe

Dans les années 80 en pleine guerre froide, d'aucuns s'étonnaient de l'étendue du spectre capacitaire confié à un simple commandant de bataillon d'infanterie mécanisée soviétique avec du génie, des missiles sol-air, une batterie de canons voire des moyens de guerre électronique. Ce qui posait invariablement la question de la gestion et du contrôle de ses équipements à un échelon très bas. Aujourd'hui, ces moyens ont évolué mais sont toujours présents en masse<sup>2</sup>. Pour la frappe dans la profondeur, l'armée russe compte sur les LRM à moyenne et longue portée comme les Grad, Tornado et Smerch, les missiles balistiques type Iskander et les missiles de croisière Club. Les équipements du génie de franchissement, de déminage ou d'assaut sur base de châssis de chars, type IMR, GMZ-3 ou BMR-1, les robots d'ouverture d'itinéraires ou les équipements de défense NRBC dotent en nombre les grandes unités interarmes. Dans le domaine des appuis rapprochés, les lanceurs de missiles anti-chars sous blindage, les impressionnants lance-roquettes thermobariques TOS et les escorteurs de chars Terminator n'ont pas d'équivalent dans les armées occidentales et commencent à

être copiés par les Chinois. Toute cette panoplie est très efficacement protégée des attaques venues du ciel par un parapluie anti-aérien et A2/AD très dense formés par plusieurs systèmes congruents de capacité, de portée et de nature différentes en commençant par l'inoxydable ZSU-23-4, le Pantsir, le Tunguska, le BUR et la famille S300/400/450/500. Convenablement positionnée sur le terrain, bien coordonnée par un système C4ISR et possiblement aidée par des avions de guet aérien, cette panoplie ne laisse aucun trou.

Les Russes vouent une véritable vénération à la guerre électronique et ils possèdent un ensemble de moyens uniques s'échelonnant du niveau compagnie au niveau théâtre. On peut voir à l'œuvre ses équipements en Syrie et en Ukraine. La plupart des matériels listés ci-dessus sont proposés à l'exportation et leur présence sur un théâtre d'opex pourrait créer de très mauvaises surprises pour les forces occidentales, trop sûres d'agir en situation de confort opératif.

### Une forte présence des armes d'infanterie

Les quelque cent millions de Kalashnikov, toutes versions et origines confondues, ne sont pas pour rien dans l'attrance naturelle éprouvées par nombre d'armées dans le monde pour les réalisations russes du domaine. L'Inde a récemment annoncé qu'elle renonçait à développer un successeur à l'INSAS pour adopter le fusil d'assaut Kalashnikov AK-103 qu'elle produira sous licence. Mais il existe des dizaines d'armes individuelles pour tout usage dans l'offre russe : pistolets, mitrailleuses, fusils de précision, lance-roquettes jetables, pistolets-mitrailleurs et grenades. Ces armes contribuent au moins autant que les chars à la diffusion du *soft power* de Moscou comme récemment en république Centrafricaine.

### L'irruption des robots de combat

Ce tour d'horizon ne saurait être complet sans évoquer la décision russe en faveur d'un emploi massif des robots de combat dans la bataille terrestre. Jusqu'à présent, la robotique dite terrestre se limitait à l'emploi d'engins de petite taille pour des missions de déminage et de neutralisation d'engins explosifs improvisés (EEI), ainsi que pour la surveillance et la reconnaissance d'espaces fermés ou de points dangereux. L'armée américaine et le Corps des *Marines* ont acquis des milliers de Packbot et autre IRobots pour leurs opérations en Afghanistan et en Irak. Le génie télécommande des engins de déminage lourds d'ouverture de brèche à travers les champs de mines. Envisager l'emploi de véritables robots de combat fortement armés est un pas que personne n'avait franchi jusqu'à aujourd'hui même s'il faut signaler quelques réalisations expérimentales aux Etats-Unis, comme la machine de BAE Systems<sup>3</sup> présentée il y a

quelques années dans un salon spécialisé. Le mantra « *no robotic shooter* » semblait tenir jusque-là de onzième commandement.

Les Russes brisent le tabou et se livrent à des expérimentations grande nature en Syrie avec des robots armés de missiles, canons automatiques et lance-grenades. Ces actions sont coordonnées depuis un PC tactique dédié, à l'aide de drones de ciblage et de communication. Parmi les modèles employés on trouve l'Uran-9, un char à échelle réduite armé d'un canon de 30 mm et de 4 missiles anti-blindés, le Platform-M, doté de 4 lance-roquettes et d'une mitrailleuse de 14,5 mm, ou encore le Nerehta plus léger et adapté à la reconnaissance. Ces trois machines sont chenillées. Ces engins peuvent poser de sérieux problèmes à tout adversaire qui ne s'y est pas préparé car ils sont employés en essais et possiblement dotés d'algorithmes rudimentaires d'acquisition d'autonomie issus de travaux sur l'intelligence artificielle, y compris dans la décision de tir.

L'industrie de défense terrestre russe démontre une forte capacité d'innovation que ce soit dans les concepts (robots, armement téléopéré, formule originale de systèmes d'armes) comme dans les technologies (protection active, munitions, C4ISR, missiles, cyber et guerre électronique). Elle a su se régénérer après l'effondrement des années 90. Ses forces sont les prix de ses produits, la fidélité de certaines armées étrangères de « masse », l'action diplomatique du Kremlin et une offre originale de produits sans équivalent dans les catalogues de la concurrence internationale. Il lui reste à matérialiser son effort de R&D par des contrats de vente export portant sur sa nouvelle gamme de matériels.

**MARC CHASSILLAN**

Consultant Défense & Sécurité

*Marc Chassillan est ingénieur. Il a passé trente-cinq ans dans l'industrie dans différents postes de développement, de R&D et de stratégie. Il est l'auteur de nombreux articles et ouvrages sur le domaine terrestre.*

### Notes

1. Voir la Revue de défense nationale de juillet 2015 pour un descriptif complet du char T14.
2. Dans un article récent de DSI, Michel Goya rappelle que les brigades russes comprennent trois bataillons de mêlée pour quatre bataillons d'appui.
3. Un véritable petit char de la taille d'un AMX13 !



**[www.frstrategie.org](http://www.frstrategie.org)**

ISSN : 2274-598X  
© FRS-Tous droits réservés