

NOTE (Draft Prépublication)

Octobre 2020

Marché n° 2017 1050 162 263

EJ court 180 004 69 93

notifié le 17 janvier 2018

réunion de lancement : 13 février 2018

La neutralisation des défenses aériennes adverses (SEAD)

PHILIPPE GROS – STEPHANE DELORY – VINCENT TOURRET – AUDE THOMAS

En partenariat avec



WWW.FRSTRATEGIE.ORG | 4 BIS RUE DES PATURES 75016 PARIS | TEL : 01.43.13.77.77 | MAIL : CONTACT@FRSTRATEGIE.FR

SIRET 39409553300052 TVA FR74 394 095 533 CODE APE 7220Z FONDATION RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1993

WWW.IFRI.ORG | 27 RUE DE LA PROCESSION 75015 PARIS | TEL : 01.40.6.60.00 | MAIL : ACCUEIL@IFRI.ORG
SIRET 78430892600038 TVA FR21 78 43 08 926 – APE 7220Z ASSOCIATION DE LA LOI 1901 RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE – DÉCRET DU 8/9/1949

SOMMAIRE

TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	4
RÉSUMÉ.....	5
INTRODUCTION	6
PARTIE 1 – HISTOIRE SUCCINCTE ET FONDAMENTAUX DE LA SEAD	7
1. HISTORIQUE SUCCINCT DE LA SEAD	7
2. LES FONDAMENTAUX DE LA MISSION SEAD	11
2.1. Objectifs de la SEAD	12
2.2. Les effets de la SEAD : une « neutralisation » des défenses aériennes	12
2.3. Moyens de la SEAD : une mission déjà multidomaine	13
2.3.1. Le renseignement	13
2.3.2. Les effecteurs.	13
2.3.3. Procédés tactiques de la SEAD	14
PARTIE 2 – APPROCHES ACTUELLES DE LA SEAD ET NOUVEAUX ENJEUX.....	15
1. LES APPROCHES ACTUELLES ET À COURT/MOYEN TERME DE LA SEAD	15
1.1. Les évolutions occidentales, notamment américaines, à l’aune de la compétition stratégique	15
1.1.1. Le défi actuel des SDAI russe et chinois pour les Occidentaux.....	15
1.1.2. Un schéma émergeant de contre-SDAI par la puissance aérienne	16
A. La frappe hypersonique d’aveuglement des radars d’alerte précoce	17
B. La saturation par système autonome, puissance de feu standoff et vecteurs pénétrants	19
C. La puissance de feu aérienne « classique » pour l’exploitation.....	23
1.1.3. Le contre-SDAI, priorité de l’Army.....	23
A. Les Long-Range Precision Fires, éléments capitaux de contre-SIDAAM	23
B. Le Future Vertical Lift pour le combat rapproché et l’éclairage.....	24
1.1.4. De multiples « enablers ».....	25
A. Les architectures spatiales	25
B. L’Advanced Battle Management System (ABMS).....	26
C. Des multiples facteurs technologiques et industriels.....	26
1.1.5. Des concrétisations encore en devenir	27
1.1.6. L’approche britannique	27

1.2. Approches russe et chinoise.....	28
1.2.1. Les défis que posent les SIDAAM occidentaux pour les Russes et Chinois	28
1.2.2. L'approche russe de SEAD	29
A. L'objectif de suprématie aérienne et l'importance subsidiaire de la lutte contre la défense anti-aérienne.	29
B. L'organisation de la lutte contre les défenses anti-aériennes, en théorie et pratique : une considération nécessairement tactique.	30
1.2.3. L'approche chinoise de la SEAD	33
2. L'ÉVOLUTION À PLUS LONG TERME DE LA CONFRONTATION ENTRE DÉFENSES AÉRIENNES ET SEAD EN HAUTE INTENSITÉ.....	35
2.1. L'avènement des architectures distribuées en offensif comme en défensif..	35
2.2. En parallèle, le développement de la portée, de la vélocité et de la résilience des effecteurs de SEAD	37
2.3. L'influence de ces évolutions sur le type d'intercepteurs surface-air.....	37
2.4. De la SEAD à la lutte contre les architectures du SDAI/SIDAAM	38
3. D'AUTRES MODÈLES « RÉGIONAUX » DE SEAD ?	39
3.1. Le cas de la Turquie en Libye : la stratégie du drone low-cost.....	39
3.1.1. Les défenses aériennes de l'ANL cible de la SEAD turque	39
3.1.2. Les capacités turques contribuant à la SEAD	39
3.1.3. Réactions russes et perspectives.....	41
3.2. Conclusions sur la confrontation SEAD/DA dans ces conflits régionaux	42
PARTIE 3 – IMPLICATIONS POUR LES ARMÉES ET RECOMMANDATIONS	43
1. IMPLICATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL	43
1.1. La SEAD face à un dégradé de menaces surface-air.....	43
1.2. La problématique de la SEAD dans nos différents cadres d'engagement	43
1.2.1. Cadres d'engagement tendanciels	43
1.2.2. Autres risques d'intervention.....	44
1.3. Une typologie des opérations de SEAD.....	45
2. IMPLICATIONS ET RECOMMANDATIONS CAPACITAIRES POUR LES ARMÉES	46
2.1. Une situation d'indéniable déficit capacitaire au regard de l'ambition de l'entrée en premier	46
2.2. Implications et recommandations pour l'armée de Terre.....	47
2.2.1. Implications des développements de SEAD adverses	47
2.2.2. Implications en matière de capacités de SEAD de l'AdT.....	47
2.3. Implications et recommandations pour l'armée de l'Air et de l'Espace	48
2.3.1. Implications des développements de SEAD adverses	48
2.3.2. Implications en matière de capacités de SEAD de l'AAE	49
2.4. Implications et recommandations pour la Marine.....	51

2.4.1. Implications des développements de SEAD adverses	51
2.4.2. Implications en matière de capacités de SEAD de la Marine	52
2.5. Implications et recommandations au niveau interarmées.....	52
2.5.1. Doctrine	52
2.5.2. Éléments de stratégie capacitaire	53
ANNEXE 1 – COMPLÉMENT SUR LES SYSTÈMES INTÉGRÉS DE DÉFENSE AÉRIENNE ET ANTIMISSILE (SIDAAM)	54
ANNEXE 2 – RAPPEL : LES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE CONTRE-MESURES ÉLECTRONIQUES DES FORCES RUSSES	57
ANNEXE 3 – LE RENFORCEMENT DU SYSTÈME DE DA RUSSE EN LIBYE	58
RÉFÉRENCES	59

Table des abréviations

AA	Antiaérienne	IR	Infrarouge
AARGM	Advanced Antiradiation Guided Missile	ISR	Intelligence, surveillance & reconnaissance
ABMS	Advanced Battle Management System	LOCUST	Low-Cost UAV Swarming Technology
AESA	Active Electronically Scanned Array	LRPF	Long-Range Precisions Fires
AFRL	Air Force Research Laboratory	MALD	Miniature Air-Launched Decoy
ALAT	Aviation légère de l'armée de Terre	MdC	Missile de croisière
ALE	Air Launched Effects	MGP	Munition guidée de précision
ANL	Armée nationale libyenne	MLRS	Multiple Launch Rocket System
APOD	Aerial Port of Debarkation	NFZ	No-Fly Zone
ARM	Missiles antiradar	NGJ	Next-Generation Jammer
ATACMS	Army Tactical Missile System	NGWS	Next Generation Weapon System
A2/AD	Anti-Access Area Denial	NIFC-CA	Naval Integrated Fire Control – Counter-Air
A2SM	Armement air-sol modulaire	OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique nord
CCME	Contre-contre-mesures électroniques	ПВО	Suppression de la défense aérienne ennemie
CEC	Cooperative Engagement Capability	PC	Poste de commandement
CHAMP	Counter-Electronics High-Powered Microwave Advanced Missile Project	PrSM	Precision Strike Missile
CME	Contre-mesures électroniques	ROC	Renseignement d'origine cyber
COMINT	Communications Intelligence	ROEM	Renseignement électromagnétique d'origine
CSO	Composante spatiale optique	ROIM	Renseignement d'origine image
C-UAS	Counter-Unmanned Aerial System	SACP	Sol-air courte portée
C2	Command and Control	SALP	Sol-air longue portée
C2BM	Command and Control / Battle Management	SAM	Surface-to-Air Missiles
C3	Command, Control, and Communication	SAMP	Sol-air moyenne portée
C4i	Command, Control, Communications, Computers, Intelligence	SAR	Synthetic Aperture Radar
DEAD	Destruction of Enemy Air Defense	SATCOM	Satellite Communications
ELINT	Electronic intelligence	SCAF	Système de combat aérien futur
EoR	Engagement-on-Remote	SDAI	Systèmes de défense aérienne intégrés
ER-GMLRS	Extended Range – Guided Multiple Launch Rocket System	SEAD	Suppression of Enemy Air Defenses
ESM	Electronic Support Measures	SiAW	Stand-in Attack Weapon
FARA	Future Attack Reconnaissance Aircraft	SIDAAM	Systèmes intégrés de défense aérienne et antimissile
GE	Guerre électronique	SOPD	Stand-off Outside Point Defense
GNSS	Global Navigation Satellite System	SPOD	Sea Port of Debarkation
GRAMM	Guided-Rocket, Artillery, Mortars and Missiles	TEL	Tracteur-érecteur-lanceur
GUN	Gouvernement d'union nationale	UAV	Unmanned Aerial Vehicle
HARM	High-speed, Anti-Radiation Missile	USV	Unmanned Surface Vessel
HPM	High Power Electromagnetics	UUV	Unmanned Undersea Vehicle
HVT	High Value Targets	TVD	Théâtre d'opération stratégique
IA	Intelligence artificielle	VKS	Forces aérospatiales
IAF	Force aérienne israélienne	VTO	Frappes de précision dans la profondeur
IAMD	Integrated air and missile defense		
IOC	Initial Operational Capability		

Résumé

L'importance des missions dites « de neutralisation des défenses aériennes » (SEAD) sont à la hauteur de la dépendance des opérations occidentales à la liberté de manœuvre de leur puissance aérienne. La SEAD concrétisait ainsi le besoin d'une négation des effets des systèmes anti-aériens adverses pour mener à bien l'interdiction en profondeur du dispositif ennemi. Elle s'est traduite pendant la guerre du Vietnam par le développement d'appareils et de munitions spécialisés concentrés sur la suppression sinon la destruction des défenses à base de radars voire de leur C2. Cette approche de la SEAD s'est graduellement enrichie et a pu montrer toute son efficacité lors de Desert Storm et des interventions de ces vingt dernières années, sans pour autant rencontrer l'ennemi paritaire qui aurait pu la mettre en difficulté et par conséquent justifier un investissement constant dans ses capacités.

La fin actuelle de ce « confort opératif » est souvent confondue avec la remontée en puissance des systèmes anti-aérien russes et chinois précisément développés pour mettre en échec le modèle de la puissance aérienne occidentale. Face à ces défis, émergent outre-Atlantique deux modèles de SEAD future. Le premier est celui de la puissance aérienne, articulé autour d'un triptyque fulgurance par le recours aux missiles de haute vitesse ; saturation par le déploiement massif de systèmes autonomes opérant en lien avec les plateformes pénétrantes et avec la chasse ; et paralysie par la guerre cyber-électronique. C'est un modèle qu'émulent partiellement les Britanniques. La seconde est celui de l'Army qui entend consacrer à cette mission une part essentielle de sa puissance de feu surface-surface aux portées étendues à la profondeur opérative. Les compétiteurs russe et chinois partagent les prémisses de cette approche mais manifestent néanmoins de fortes différences d'appréciation. La Russie semble encore demeurer dans une phase de rattrapage post-soviétique qui ne lui laisse guère de marges de manœuvres. Son approche de la SEAD apparaît dominée par les moyens et les considérations terrestres de la frappe dans la profondeur qu'elle résout ainsi de façon asymétrique dans le cadre plus générale de l'atteinte de la supériorité aérienne. La Chine quant à elle encapsule la SEAD dans son schéma de frappe d'interdiction des bases américaines du Pacifique avec une attention plus particulière sur la neutralisation de l'architecture C4ISR adverse. L'évolution de ces capacités SEAD induit en réaction une évolution des systèmes de défense aérienne et antimissile vers des architectures toujours plus distribuées, multidomaines qui impliqueront en retour un élargissement de la confrontation, par exemple dans le domaine spatial. Cependant, le contexte actuel est également marqué par la diffusion possible d'autres modèles, « intermédiaires », de SEAD, idéaux pour des guerres de protraction, tel l'emploi massif par les Turcs des drones armés en Libye.

Ces développements sont susceptibles d'affecter nos forces dans leurs différents cadres d'engagement, qui nécessiteront différents niveaux de SEAD. Sur le plan capacitaire, ils posent une double exigence pour nos forces, sous forte contrainte de ressources : celle d'un accroissement de leurs aptitudes à la SEAD par le renforcement de leur capacités ISR aéroportées et spatiales et par le développement d'effecteurs véloces et saturants et celle de la résilience de nos défenses aériennes aux capacités de SEAD adverses. Elle implique aussi, probablement une refonte de nos doctrines interarmées et plus certainement la poursuite du développement de nos capacités de lutte informatique offensive tactique.

Introduction

Le retour de la préparation au combat de haute intensité est au cœur des politiques de défense occidentales qu'il s'agisse de la crédibilisation des dispositifs de dissuasion ou des capacités d'engagement face à des puissances régionales. Dans ce contexte, les menaces que les systèmes de défense aérienne intégrés (SDAI) ou les systèmes de feux dans la profondeur des adversaires potentiels font peser sur les stratégies d'intervention sont au centre des préoccupations.

Elles ramènent par ricochet sur le devant de la scène les stratégies de contre-SDAI et notamment la mission de *Suppression of Enemy Air Defense* (SEAD) que l'AAP6 de l'OTAN qualifie en français de « mise hors de combat des moyens de défense aérienne ennemis » et définit comme « ['] ensemble des activités qui neutralisent, détériorent temporairement ou détruisent les moyens de défense aérienne ennemis de surface par des moyens de destruction ou de perturbation et qui contribuent à la liberté de manœuvre des forces amies dans l'espace de bataille ». La problématique est double : il s'agit d'une part de pouvoir les exécuter, d'autre part, au contraire, de se prémunir contre les aptitudes adverses à les réaliser sur nos systèmes de défense aérienne. Du côté occidental, la priorité accordée aux engagements de maintien de la paix puis aux guerres irrégulières a abouti, dans ce domaine comme dans d'autres, à un moindre investissement dans ces capacités, dont la reconstitution ou la modernisation est donc devenue un impératif. Or, un demi-siècle après le développement des moyens et procédés tactiques des missions SEAD par les Américains puis les Israéliens, le contexte technologique a bien changé, qu'il concerne les capacités de détection, des effecteurs ou du commandement et du contrôle de ces moyens, celles de leurs cibles ou des capacités en mesure de les menacer, renouvelant en la matière les potentialités mais aussi les défis.

Cette note propose ainsi d'examiner la problématique telle qu'elle se présente actuellement. Elle s'inscrit en complément de plusieurs productions précédentes de l'observatoire (note 3 sur le sol-air nouvelle génération, note 12 sur les feux dans la profondeur notamment). Elle reprend la structuration en trois parties de la plupart des notes précédentes.

- ➔ Sa première partie présente un historique succinct de cette mission et du développement des capacités afférentes, dont elle tire quelques éléments fondamentaux caractérisant cette mission.
- ➔ La seconde partie décline les approches que mettent en œuvre les grandes puissances actuelles, bien entendu les Américains, les Russes et les Chinois mais aussi les Britanniques et les développements capacitaires majeurs qui affecteront la confrontation future entre SEAD et défenses aériennes et antimissiles. Cette partie aborde en complément l'action des Turcs en Libye, un cas d'étude intéressant d'activités de SEAD dans des conflits régionaux « intermédiaires ».
- ➔ La dernière partie remet en perspective ces éléments à l'aune de nos cadres d'engagement, propose une typologie des missions SEAD qui en découlent et propose plusieurs implications et recommandations pour chacune de nos trois armées.

Partie 1 – Histoire succincte et fondamentaux de la SEAD

La mission de SEAD est aussi ancienne que les défenses aériennes elles-mêmes. Elle témoigne d'une histoire déjà riche¹, principalement écrite par les forces aériennes américaines et israélienne et, en creux, par leur opposants principalement vietnamiens, arabes ou serbes. La maturation progressive des tactiques et des capacités au cours de ce demi-siècle permet d'inférer bon nombre de fondamentaux de la SEAD qu'ils s'agissent de ses effets, des moyens ou encore des procédés tactiques utilisés.

1. Historique succinct de la SEAD

C'est lors de la Seconde Guerre mondiale que les premiers efforts de ce qui deviendra la SEAD sont réellement structurés. Ce sont tout d'abord les Allemands qui tentent de détruire les radars de surveillance britannique pendant la bataille d'Angleterre. Dans la seconde partie de la guerre, les alliés affinent et diversifient les procédés et technologies de neutralisation de la défense aérienne : introduction de la guerre électronique avec le développement des premiers moyens de leurrage des radars allemands ; opérations menées sur la base du renseignement d'origine image (ROIM) combinant bombardiers et chasseurs tactiques opérant à basse altitude, pour détruire les sites de la *flak*, utilisation de l'artillerie par les Britanniques à la fin de la guerre. Dès cette époque, les Allemands introduisent d'ailleurs le saut de fréquence et le contrôle des émissions pour déjouer ces attaques. L'innovation tactique et technique retombe dans les années suivantes. En Corée, les forces des Nations-Unies opposent ainsi des procédés guère différents de ceux de 1945 à un dispositif de surveillance aérienne communiste qui, lui, connaît d'importants perfectionnements. Du côté occidental, les capacités de défense antiaérienne adverses deviennent un enjeu à la fin des années 1950 avec le développement des radars et des premiers systèmes sol-air moyenne portée (SAMP) SA-2 soviétiques.

C'est la guerre du Vietnam qui représente le catalyseur de la SEAD conventionnelle contemporaine². Les Américains font face pour la première fois à un vrai SDAI montant en gamme tout au long des hostilités, reposant à partir de 1968 sur la combinaison de multiples moyens d'alerte précoce (radars, détection passive, renseignement), 250 intercepteurs, 300 sites *Surface-to-Air Missiles* (SAM) – notamment SA-2/SA-3 – et 1500 sites d'artillerie antiaérienne (AA). En 1965, les Nord-Vietnamiens enregistrent en moyenne une victoire pour 11 missiles tirés et forcent les appareils américains à voler à moyenne altitude dans l'enveloppe de tir de l'artillerie AA. Le *Tactical Air Command* réagit vigoureusement en développant les instruments de la SEAD moderne. Les raids sont tout d'abord accompagnés d'appareils de surveillance électronique puis d'unités spécialisées « Wild Weasel » sur F-100 Super Sabre puis surtout F-105 Thunderchief, et de leurs équivalents « Iron Hand » de la Navy. Elles mettent en œuvre des moyens de brouillage, les premiers missiles antiradars (ARM) Shrike puis Standard et des bombes pour détruire les sites. À la fin du conflit, les opérations de SEAD ont muté en de vastes dispositifs incluant non seulement les unités *Wild Weasel* aux tactiques sans cesse affinées, mais aussi l'usage massif de brouilleurs et de leurres par de

multiples autres appareils, présentant un véritable mur électromagnétique. En 1972, le taux de pertes se réduit à un appareil abattu pour 68 SAM tirés³. Dans les cinq premiers jours de l'opération Linebacker II (18-29 décembre 1972), les vagues d'attaque conçues par le *Strategic Air Command* de façon stéréotypée et mal coordonnées avec la SEAD se traduisent par la perte de 11 B-52 (15 appareils seront perdus au total), ce qui provoque dans les quatre derniers jours de l'opération le premier assaut massif contre tous les éléments du SDAI communiste, allant bien au-delà des seules opérations de SEAD. Coupées de leur ravitaillement par le minage d'Haiphong, ayant perdu plusieurs sites de stockage, ayant tiré au moins 884 missiles sur les seuls B-52, les forces nord-vietnamiennes sont à court de SAM le 29 décembre. À bien des égards la SEAD telle que pratiquée après la guerre froide est l'héritière directe de celle sortant de la guerre du Vietnam.

Quelques mois plus tard, lors de **la guerre du Kippour en octobre 1973**, les Israéliens doivent à leur tour intégrer ces enseignements dans une situation plus défavorable encore, lors de laquelle les SDAI arabes parviennent au niveau tactique à un état de parité aérienne face à l'aviation de Tsahal. Les Israéliens sont en effet pris par surprise et mal préparés à la défense multicouches livrée par les Soviétiques à la Syrie et surtout à l'Égypte, laquelle est dotée de nouveaux systèmes comme les SA-6, aux performances peu connues. L'État hébreu perd 120 appareils dont 40 par les SAM et 30 par l'artillerie antiaérienne. Cela étant, les trois quarts de ces pertes sont occasionnés dans les premiers jours de l'affrontement durant lesquels le primat logiquement accordé à l'appui des forces terrestres ne permet pas à l'aviation israélienne de concentrer suffisamment de moyens à la lutte contre les SAM. Ensuite, la bascule d'effort, le savoir-faire des pilotes israéliens et le soutien américain (livraisons de missiles antiradars et de munitions guidées, expertise) contribuent à retourner la situation, laquelle est définitivement scellée par la contre-offensive terrestre de Tsahal qui capture une large part des sites de la barrière SAM égyptienne érigée le long du Canal de Suez⁴.

Les Israéliens affinent leurs propres capacités dont ils font l'étalage dix ans plus tard lors **de l'opération Paix en Galilée**, face à un SDAI syrien pourtant largement modernisé par rapport à 1973. La SEAD y trouve sa place dans la stratégie aérienne, à la fois en tant que manœuvre globale et comme première étape d'une campagne. Après une large opération de déception par la stimulation des émetteurs au profit de la préparation renseignement, l'assaut israélien disloque le système syrien en à peine une heure, là encore par la combinaison du leurrage de séduction et de frappes. Les drones sont le principal élément nouveau de l'opération⁵.

Par ailleurs, durant les quinze dernières années de la Guerre Froide, **les Américains et leurs alliés de l'OTAN perfectionnent leurs capacités SEAD.**

- ➔ L'Air Force, tout particulièrement, introduit une nouvelle génération d'appareils spécialisés à savoir le F-4G, variante du Phantom dotant les unités « Wild Weasel » et l'EF-111 Raven, version de l'Aardvark spécialisée dans les contre-mesures électroniques. La Navy aligne l'EA-6B Prowler, équipé comme l'EF-111 du brouilleur ALQ-99. Les deux services mettent en œuvre le nouveau missile antiradar AGM-88 *High-speed, Anti-Radiation Missile* (HARM). Les Britanniques déploient l'*Air Launched Anti-Radiation Missile* (ALARM) et la France une version antiradar de l'AS-37 Martel ;
- ➔ En matière de guerre électronique (GE), les progrès de l'informatique embarquée permettent aux occidentaux de prendre alors une avance déterminante dans la

lutte contre-mesures électroniques/ contre-contre-mesures-électroniques (CME/CCME) « symétrique » ;

- ➔ Sur le plan tactique, l'Air Force, tout particulièrement, fait effort sur la pénétration basse altitude des défenses adverses ;

Au plan doctrinal, l'Air Force se démarque aussi des autres *services* en développant une approche de « combat électronique intégré » incorporant le brouillage des radars, la SEAD et les contre-mesures du C3 adverse, exécutées par les EC-130H Compass Call de l'AFSOC. Les Américains démontrent l'efficacité de ces nouveaux moyens SEAD lors d'El Dorado Canyon en 1986 face au SDAI libyen, bien que la nature du raid n'en autorise pas la neutralisation systématique.

De leur côté, **les Soviétiques étoffent et modernisent considérablement leurs moyens sol-air jusqu'en 1990** avec l'allongement de la portée de leurs SALP, la densification de leur modèle multicouches ou encore la recherche de la parade à la furtivité avec l'hybridation de la chaîne de détection basses et hautes fréquences. Ils aboutissent ainsi aux architectures dont les SDAI actuels ne sont que les héritiers (voir la note 3 de cet observatoire).

La guerre du Golfe parachève la maturation de la SEAD. La coalition y fait face à un SDAI irakien sur le papier significatif (un maillage de communications redondantes reliant un centre national d'opérations, 4 centres de secteurs, 17 centres d'interception, 500 radars, 105 batteries SAM) mais souffrant de failles béantes : capacité à suivre un volume réduit de cibles, vulnérabilité au ciblage de ses éléments et de la conception du système, vétusté de ses SA-2/3/6⁶. L'analyse de ce système est complètement réalisée lors de la planification. La SEAD est intégrée dans un unique plan massif de contre-SDAI. Elle absorbe 50% de l'effort aérien dans la phase initiale de l'opération Desert Storm, ayant recours, au-delà des moyens spécialisés évoqués, à la plupart des systèmes capteurs (E-3, E-8, RC-135, etc.) et des systèmes d'arme, non seulement ceux de l'Air Force en mesure de frapper avec précision (F-117, F-111F, F-15E) mais aussi ceux de la Navy (qui tireront la moitié des missiles HARM du conflit) de même que les hélicoptères Apache et les *Army Tactical Missile System* (ATACMS) des *Multiple Launch Rocket System* (MLRS) de l'Army. Illustrant la massivité de l'attaque, pas moins de 200 missiles HARM sont tirés simultanément sur 100 sites radars lors de cette première nuit. Le SDAI est désintégré en quelques heures et, au bout de six jours, 95% des émissions de radars ont cessé consacrant le succès complet de la SEAD même si seule une fraction des batteries est entièrement détruite⁷. Cela étant, la coalition maintient ensuite une pression continue contre les systèmes sol-air courte portée, responsables des deux tiers des 38 appareils perdus par la coalition⁸.

Desert Storm est le dernier cas de confrontation des occidentaux avec un SDAI puissant et structuré. **Dans les opérations qui suivent, les systèmes de défense antiaérienne ont constitué au mieux une gêne voire ont entravé les activités tactiques à basse altitude des opérations aériennes mais ils n'ont cependant jamais été en mesure de les interdire.** L'enjeu n'était d'ailleurs plus là compte tenu de l'asymétrie des forces : l'Irak de Saddam n'a jamais pu rebâtir un système efficace jusqu'en 2003 ; la Serbie n'avait que 22 à 26 batteries sol-air, souvent anciennes ; les Talibans n'avaient que peu de défense aérienne ; l'essentiel des éléments du SDAI de Kadhafi n'était plus opérationnel en 2011. Dans les Balkans notamment, c'est avant tout un contexte d'interventions aux fortes contraintes politiques, dans lesquelles les pertes devaient être limitées au maximum, qui a forcé le *Joint Force Air Component*

Commander (JFACC) à allouer à la SEAD une part importante des ressources en capacités air-sol. Il n'en reste pas moins qu'*Allied Force* a représenté une piqûre de rappel. Certes, la SEAD a exercé un effet réel de neutralisation des défenses serbes mais elle n'a pas non plus brillé par son efficacité destructrice, face à un adversaire particulièrement résilient à défaut d'être lui-même efficace : redéploiement permanent de ses unités, déception, hybridité des procédés d'acquisition, pratique du contrôle des émissions (EMCON) aboutissant à des tirs de missiles en balistique, etc. Seules deux ou trois batteries et 10 des 41 radars serbes ont au final été détruits. Ce faisant, le conflit a souligné certaines carences en capacités SEAD⁹. Certaines relevaient de problèmes rémanents (par exemple maintenir sur cible des missiles antiradar à guidage passif une fois l'interruption des émissions du radar par l'adversaire), d'autres plus conjoncturelles.

De fait, sur le plan capacitaire, la période connaît une transformation notable. **Les puissances occidentales réduisent en effet à des degrés divers leurs capacités spécialisées** : l'Air Force retire du service ses EF-111 et ses F-4G pour des raisons de coûts et confie la mission d'attaque par missiles antiradars à une variante du Falcon, le F-16CJ, mais sans le nombre de nacelles ou de personnels qualifiés nécessaires¹⁰. Au sein des forces américaines ne subsistent plus comme appareils spécialisés de brouillage tactique que les Prowler (remplacés par les EA-18 Growler) de la Navy, même si l'AFSOC conserve l'EC-130H. Cependant, afin de mieux assumer cette prérogative, la Navy fait évoluer son système de formation en créant en 1995 l'*Electronic Combat Weapons School*. La Grande-Bretagne et la France retirent du service leurs missiles antiradar. La tendance est à la « démocratisation » de la SEAD, permises par le développement des détecteurs de radar de plus en plus sophistiqués et des munitions guidées par GPS et de portée accrue. Les missiles de croisière deviennent les effecteurs de choix des Américains pour la neutralisation des éléments de DA en phase initiale d'engagement, ce depuis *Deliberate Force*. Lors de *Unified Protector* en Libye en 2011, la destruction de batteries SA-3 et SA-8 par nos chasseurs équipés d'armement air-sol modulaire (A2SM) témoignent aussi de cette évolution. Dans le même temps, les Américains développent **les capacités de SEAD en réseau, voire en combat collaboratif** avec le *network-centric collaborative targeting* (NCCT) ayant pour tâche l'identification et la localisation des émetteurs.

La lutte information offensive (LIO) émerge également au rang des effecteurs de la SEAD dès *Allied Force*, comme l'a admis le général Jumper, chef d'état-major de l'USAF, peut-être sous la forme d'intrusion de faux éléments dans le C3 du SDAI à des fins de déception. Il semble que dès cet engagement, la controverse, courante, entre l'approche de la fonction renseignement visant à préserver le « capteur » et celle des opérationnels consistant à mettre en œuvre – et donc dévoiler – l'arme cyber, ait animé les états-majors américains¹¹. La LIO s'incarne pendant les années 2000, notamment au travers du **projet Suter**, utilisé conjointement avec le NCCT. Il n'est à cet égard pas impossible que l'attaque informatique effectuée récemment par les Américains contre l'Iran en représailles à la destruction de leur drone RQ-4 ait visé le SDAI¹².

Le projet Suter

Le projet Suter a été expérimenté par l'Air Force dans le cadre de l'expérimentation JEFX 2000¹³. Officiellement, c'est un logiciel mis en œuvre au sein du Combined Air Operations Center (CAOC).. Sa version actuelle, Suter V, rebaptisée *Intelligent Modeling and Predictive Analysis of Cyberspace Targeting* (IMPACT) est présentée comme un outil d'analyse de ciblage cyber du système C4I adverse, de synchronisation ou « d'intégration horizontale » des actions cinétiques, non-cinétiques (donc cyber) et ISR – exécutées par les EC-130/RC-135/F-16CJ – et enfin

de monitoring partagé des opérations¹⁴. Plusieurs journalistes spécialisés expliquent cependant que le système, fabriqué par British Aerospace, serait destiné aussi directement à l'intrusion électronique via les EC-130. Il serait mis en œuvre aussi par les Israéliens, qui l'auraient employé à l'occasion de l'opération Orchard menée en Syrie en 2007¹⁵. D'autres sources préfèrent en cette instance évoquer l'insertion manuelle ou le réseau de fibre optique¹⁶, ce qui montre bien qu'en matière de cyber, l'analyse de source ouverte reste très incertaine. Si ces sources divergent sur l'organisation du programme, elles se rejoignent sur le fait que le système se composerait d'éléments consistant d'une part à analyser le C4I adverse et à surveiller ses données, d'autre part à les corrompre pour affecter la tenue de situation aérienne adverse voire même le C2 du SDAI.

Les opérations menées depuis 2017 par Israël en Syrie apparaissent elles aussi riches d'enseignements. Elle vise spécifiquement à entraver la montée en puissance du Hezbollah, tout en évitant de dériver vers une campagne risquant d'aboutir à l'effondrement du régime de Damas et risquant d'impliquer la Russie. La force aérienne israélienne (IAF) ne peut donc se livrer à une opération d'envergure de contre-SDAI mais doit limiter la menace sol-air syrienne. Cette dernière, particulièrement active, émane d'un SDAI complet, articulé selon la logique multicouche classique comprenant au début de la décennie, selon les estimations, 22 sites de radars d'alerte, environ 130 sites de SAM systèmes sol-air longue/moyenne portée (SALP/SAMP) et 300 systèmes sol-air courte portée (SACP) mobiles¹⁷. Ce système syrien n'est pas simplement soutenu par les Russes mais est aussi intégré depuis 2017 avec leur propre système¹⁸, plus sophistiqué, déployé depuis Hmeimim mais que Moscou se garde bien d'engager contre les Israéliens. Dans ce contexte, le SDAI syrien se révèle d'une incapacité presque totale à entraver les frappes de l'État hébreu. En effet, entre 2017 et la mi-2020, les IAF avançaient avoir tiré environ 1000 missiles sur 955 objectifs et avoir fait l'objet de 844 tirs de missiles par les Syriens¹⁹ pour la perte d'un seul F-16. Si le bilan s'avère confirmé, les raisons pourraient être de plusieurs ordres : exploitation des masques du relief, en l'occurrence de l'axe de pénétration fourni par la vallée de la Bekaa au Liban, qualité du renseignement et capacités intrinsèques des forces israéliennes bien sûr, doutes sur les compétences des opérateurs syriens, vétusté d'une partie des armements... mais aussi déficiences des systèmes les plus récents²⁰. Ainsi, le transfert par Moscou à la Syrie en 2018, de S-300, probablement PMU-2, n'a aucunement changé la donne, ces systèmes n'ayant tiré aucun missile depuis. Les restrictions d'emploi russes ont été citées pour expliquer cette situation²¹. Cependant, selon le site *Avia.pro*, les Syriens auraient aussi critiqué le manque total d'efficacité des radars des S-300 mais aussi des Pantsir, dans la détection des missiles israéliens. Les médias chinois mettent en avant, probablement non sans raison, le renseignement technique émanant d'un ou plusieurs alliés ou partenaires, opérateurs de ces systèmes (Chypre, Ukraine, Grèce, Égypte), obtenu via les Américains²² – ou directement par les Israéliens. Les Syriens auraient préféré rééquiper leur dispositif de détection avec du matériel chinois (radars JY-27 et JYL-1 à longue portée et Type 120 pour la détection basse altitude), aux performances nettement meilleures²³. Il n'en reste pas moins que les opérations SEAD israéliennes, même limitées à la couverture des raids et à des opérations ponctuelles de rétorsion, auraient permis de détruire un tiers des moyens de ce SDAI en trois ans.

2. Les fondamentaux de la mission SEAD

Cet historique succinct et forcément réducteur n'en permet pas moins de tirer quelques tendances historiques lourdes et de préciser les contours de la mission. La France n'a pas

réalisé de développements doctrinaux significatifs concernant la SEAD. On se réfèrera donc ici à la doctrine interarmées américaine, la *Joint Publication 3-01 - Countering Air and Missile Threats*²⁴.

2.1. Objectifs de la SEAD

La nature de la mission de SEAD découle évidemment de celle de sa cible, les défenses aériennes lesquelles peuvent aller de la juxtaposition des systèmes SAM ou d'artillerie AA, à un système de défense aérienne intégré (SDAI) voire à un système intégré de défense aérienne et antimissile (SIDAAM) (voir annexe 1). Selon la doctrine américaine, les éléments ciblés par la SEAD incluent potentiellement : les radars et autres capteurs de veille et d'alerte précoce ; les sites et réseaux des capacités de commandement, de contrôle et de *Battle Management* ; les systèmes de missiles surface-air (incluant eux-mêmes radars, éléments de C2 et missiles proprement dits) ; les systèmes d'artillerie air-air ; les sites de stockage de ces systèmes d'arme ; les systèmes de guerre électronique ; les capacités de DA navales et enfin les capacités de maintenance.

2.2. Les effets de la SEAD : une « neutralisation » des défenses aériennes

La doctrine américaine précise que les opérations SEAD « *are accomplished through denial, degradation, destruction, and disruption* »²⁵. Tentons de réorganiser les effets cités :

- ➔ Les effets directs sur les éléments de la DA sont leur **destruction** ou leur **dégradation** (définie par le ciblage américain²⁶ comme un dommage fonctionnel pérenne mais limité) par les moyens cinétiques, leur **perturbation** (un dommage fonctionnel temporaire et partiel) voire leur **interdiction** (dommage temporaire affectant l'ensemble d'une fonction) notamment par la guerre électronique et son prolongement cyber-électronique ;
- ➔ Ces effets réels ou putatifs génèrent le plus souvent des effets psychologiques **d'inhibition** mais aussi de **déception** sur les opérateurs de ces défenses ;
- ➔ L'ensemble de ces effets aboutit à deux types d'effets principaux. Le premier est celui qualifiant historiquement la mission, de **suppression**, que le ciblage américain définit de façon réductrice comme la « *dégradation temporaire ou transitoire [...] des performances d'un système d'armes* » mais dont la finalité dans le cas de la SEAD est empiriquement conforme à la notion de tir de suppression de l'artillerie. Le second est celui que tente de capturer la notion de ***Destruction of Enemy Air Defense (DEAD)***, régulièrement rencontrée pour rendre compte de modes d'action plus létaux mais qui confond l'effet direct et l'effet d'ensemble. Il conviendrait plutôt de qualifier ce dernier **d'attrition (ou usure)**.

Plus que la notion de « mise hors de combat », on retiendra donc le qualificatif plus englobant de « **neutralisation** » des défenses aériennes pour traduire SEAD.

2.3. Moyens de la SEAD : une mission déjà multidomaine

2.3.1. Le renseignement

La connaissance de la DA adverse est la première exigence de la SEAD. Elle suppose un effort significatif de renseignement d'origine image (ROIM), électromagnétique (ROEM) non seulement en matière d'*Electronic intelligence* (ELINT) mais aussi de *Communications Intelligence* (COMINT) technique – concernant les liaisons de C3 – et cyber (ROC), de même que de renseignement technique, émanant de la récupération ou de la saisie d'équipements et de documents.

Cette connaissance est élaborée au travers d'une **analyse systémique** mettant en lumière non seulement **la structure du système** (les équipements et unités de surveillance, la couverture radar, les nœuds de C2, les bases, les sites SAM et leur couverture, etc.) mais aussi **son articulation fonctionnelle**, qui est beaucoup plus moins évidente à cerner : à quel niveau se fait la fusion des données ? Quel est le niveau d'intégration réel ? Quelle est la doctrine d'emploi de ces moyens ? Cette analyse permet d'identifier les centres de gravité et leurs vulnérabilités critiques à exploiter en fonction des effets fixés par le commandement. Elle est non seulement nécessaire pour alimenter la planification opérationnelle à des fins de ciblage mais également pour orienter la manœuvre capteur permettant de renseigner et de mettre à jour, tout au long de l'engagement, **l'ordre de bataille électronique (ODBE) adverse**. Le renseignement en appui de la conduite mobilise également les autres ressources en capteurs ISR notamment ROIM.

2.3.2. Les effecteurs.

De nos jours, la SEAD est obtenue par la mise en œuvre :

- ➔ **Des moyens de guerre électronique aéroportés**, employant les mesures de soutien et de protection électroniques, les contre-mesures électroniques et les missiles antiradars (ARM),
- ➔ **De la frappe air-surface**. Elle est à cet égard marquée par le développement des munitions maraudeuses au croisement de la munition guidée de précision (MGP) et du drone ;
- ➔ **De la frappe surface-surface terrestre ou naval**, des *Guided-Rocket, Artillery, Mortars and Missiles* (GRAMM) ;
- ➔ **Des hélicoptères de combat ;**
- ➔ **De la lutte informatique offensive (LIO)** mise en œuvre de façon intégrée avec la guerre électronique selon la logique de guerre cyber-électronique ;
- ➔ **Le cas échéant des opérations spéciales** pour des raids sur les HVT.

Sur le plan organisationnel, chez les Américains, sont apparues assez rapidement deux écoles relatives aux unités aériennes employées : celle de l'Air Force qui repose prioritairement sur les unités spécialisées « *Wild Weasel* », accompagnées d'autres moyens de GE, et celle de la Navy dans laquelle un plus grand nombre d'appareils pratiquent la SEAD. C'est cette tendance qui s'affirme récemment dans la mesure où la capacité SEAD tend à se **diffuser au niveau des**

plateformes tout en conservant **des charges utiles et des armements spécialisés**, précisément en matière de guerre cyber-électronique dédiée à la lutte contre les radars et le C4I du SDAI.

2.3.3. Procédés tactiques de la SEAD

Les Américains reconnaissent trois types d'opérations de SEAD :

- ➔ **La neutralisation des défenses antiaérienne sur l'ensemble de la zone d'opérations et ou de responsabilité du commandant de la force** (*AOR-/JOA-wide AD System Suppression*). C'est une campagne visant l'ensemble du SDAI adverse, dans laquelle la « *destruction of key C2 nodes has the most disruptive effect on an IADS.* » ;
- ➔ **La neutralisation localisée** (*Localized Suppression*) de la défense aérienne adverse déployée autour d'objectifs spécifiques ou sur une route de transit. Cette neutralisation localisée peut être planifiée ou immédiate ;
- ➔ **La neutralisation d'opportunité** (*Opportune Suppression*), non planifiée, qui relève d'une action dynamique sur acquisition d'objectifs par des capteurs, des observateurs et des JTAC au sol ou directement par l'équipage.

Sont apparus rapidement deux types de modes d'action de SEAD : **une SEAD plutôt défensive, visant des effets de suppression, pratiquée en *stand-off*** dans laquelle le brouillage électronique puis l'engagement du système surface-air se pratiquent en dehors de la portée d'engagement de ses missiles, le cas échéant par des tirs préemptifs d'ARM ou de missiles de croisière (MdC) sur les radars localisés, ce qui caractérise plutôt la culture Navy pour laquelle la SEAD doit dégager des corridors pour des raids, et la **SEAD *stand-in* ou pénétrante** intégrée avec les opérations de guerre électronique et de contre-C2 aux effets plus systémiques. C'est plutôt la culture *Air Force*, qui associe à la SEAD l'usage de la furtivité²⁷. Apparaît cependant une catégorie intermédiaire, le **SOPD (*stand-off outside point defense*)**, autrement dit une SEAD opérant certes dans la bulle du SDAI adverse, mais depuis des distances de l'ordre de 50-100 km de ses *High Value Targets* (HVT), à distance de sécurité de ses systèmes SACP/SAMP.

À cet égard, le mode d'action dans lequel la SEAD obtient les résultats les plus convaincants est **l'attaque brutale en début d'opération, combinée avec la frappe des autres éléments du SDAI** dans le cadre d'un plan cohérent, qui permet de réduire significativement les capacités adverses et de disloquer le système. Cependant, la survie systématique de capacités résiduelles voire leur régénération font de la SEAD une ligne d'opérations tactique nécessaire tout au long d'une campagne. De plus, ce mode d'action d'attaque massive initiale ne peut s'inscrire que dans une campagne où les effets militaires ne sont pas exagérément contraints. Dans de nombreux cas, la SEAD sera restreinte par des actions tactiques défensives à effets limités. Lorsque cette chasse aux systèmes sol-air s'installe dans la durée, elle se traduit par une dynamique de **manœuvres / contre-manœuvres** entre les moyens SEAD et la défense sol-air, pratiquant des modes d'action de « *hide, shoot and scoot* », pouvant aboutir à des situations d'absence d'attrition réciproque.

Partie 2 – Approches actuelles de la SEAD et nouveaux enjeux

Les systèmes de défense aérienne, clés de la contre-intervention qui façonne le débat stratégique relatif à la grande compétition actuelle, mais aussi les technologies de la SEAD et plus généralement de la puissance aérospatiale, ont largement évolué, permettant ou nécessitant de définir de nouvelles approches de la mission au sein des grandes puissances, notamment chez les Américains. L'évolution de cette dialectique offensive / défensive n'est cependant pas close et devrait aboutir dans les confrontations de haut du spectre à d'autres ruptures sur le moyen-long terme. La dissémination de ces technologies permet également d'entrevoir déjà d'autres approches de la SEAD à la portée d'un plus grand nombre d'acteurs régionaux.

1. Les approches actuelles et à court/moyen terme de la SEAD

1.1. *Les évolutions occidentales, notamment américaines, à l'aune de la compétition stratégique*

Dans le contexte de la compétition stratégique avec la Russie et la Chine que la *National Defense Strategy 2018* place en tête des priorités de la défense américaine, les SDAI sont perçus comme l'un des deux ou trois systèmes de force majeure contribuant aux stratégies de contre-intervention de ces puissances. Deux schémas de SEAD émergent donc outre-Atlantique, l'un assez implicite émanant de l'Air Force, l'autre plus clairement articulé élaboré par l'Army.

1.1.1. *Le défi actuel des SDAI russe et chinois pour les Occidentaux*

Dans la mesure où le sujet a été bien couvert par de multiples productions²⁸, on se contentera ici d'un simple rappel de synthèse sur les défis que posent ces systèmes aux occidentaux :

- ➔ Dans le domaine de l'alerte précoce, la constitution d'architectures de détection distribuées, multifréquences incluant des systèmes de radars basse fréquences (par exemple VHF) en mesure de déjouer la furtivité (NEBO russes, JY-27 chinois qui auraient dépassé ces derniers en la matière), l'investissement dans une composante aérienne d'alerte plus conséquente, notamment dans le cas chinois ;
- ➔ L'extension de la portée et des performances des systèmes SALP (400 km avec le missile 40N6 du S-400, 600 km avec le S-500 à court-moyen termes brève échéance), domaine dans lequel les Russes semblent encore en avance ;
- ➔ L'approfondissement de l'intégration des multiples couches de systèmes SAM, par exemple permettant l'engagement collaboratif entre systèmes SALP/SAMP ou encore l'emploi de systèmes SACP en « goalkeepers » des radars et des SALP contre les munitions de précision ;
- ➔ L'épaisseur des SDAI russe et chinois dans leurs atterrages ;

- ➔ L'intégration de la guerre électronique (attaque électronique des capteurs, contre-mesures contre les missiles) à tous les échelons, notamment chez les Russes ;
- ➔ La mobilité de la plupart de ces capteurs et systèmes SAM, ou plus précisément leur capacité à une relocalisation rapide, non seulement pour les SACP et SAMP mais aussi, quoique dans une moindre mesure, pour les SALP (hormis pour certains radars placés sur mats) ;
- ➔ Dans le cas de la Chine, la complémentarité entre ses SDAI terrestre et naval, même si les experts américains considèrent qu'il est encore prématuré de parler d'intégration.

1.1.2. *Un schéma émergent de contre-SDAI par la puissance aérienne*

L'Air Force n'a pas articulé de concept détaillé de sa mission future de SEAD ou plus largement de contre-SDAI. Cependant, même implicitement, elle se situe en bonne place dans le corpus conceptuel édité depuis 2014. Elle est de surcroît omniprésente dans les nombreux programmes de R&D poursuivis. On peut donc en inférer un schéma général destiné à être appliqué progressivement à moyen-long terme. Bien que les conceptions de la Navy soient moins claires, on peut tenter de les rattacher à cette logique générale.

Les conceptions de la puissance aérienne future affichées par l'USAF depuis 5-6 ans présentent une forte cohérence. Ainsi « l'agilité opérationnelle » mise en avant par l'*Air Force Future Operating Concept* (AFFOC) de 2015, n'est pas démentie depuis. Il explique qu'en 2035, « *The Air Force global precision strike includes a **balanced capabilities mix of assets that act as performance-optimized teams.** [...] In the air domain, high-end manned and uninhabited precision strike assets are low-observable and have long range, high endurance, and mission-configurable payloads. Less exquisite systems, obtained via an agile acquisitions enterprise, provide lower-cost options to support precision strike missions in highly contested environments (as expendable decoys, for example), and for operations in permissive environments. These assets include several classes of modular platforms that can be configured with combinations of sensors, decoys, electromagnetic jammers, and munitions (with both lethal and nonlethal effects)* »²⁹. La *Science and Technology Strategy* publiée en 2019, reste sur le même portage :

- ➔ « *To become more agile, the Air Force must augment its high-end platforms with larger numbers of inexpensive, low-end systems. Swarms of low-cost, autonomous air and space systems can provide adaptability, rapid upgradability, and the capacity to absorb losses that manned systems cannot [...].*
- ➔ *The Air Force must field a combination of weapons and effects with greater speed and reach. This will include advanced penetrating kinetic weapons combined with new effects from the electromagnetic spectrum and the space and cyberspace domains to create new offensive and defensive options* »³⁰.

L'*Air Force Research Laboratory* (AFRL) considère pour résumer que les trois « *game changers* » des opérations aériennes futures sont les armes hypersoniques, les armes à énergie dirigée et l'autonomie. En matière de neutralisation des défenses aériennes, il envisage une progression du combat collaboratif et du *manned-unmanned teaming* vers une capacité de « *Distributed, Cooperative SEAD* » à l'horizon 10-25 ans.

Ainsi, la SEAD de la puissance aérienne américaine future reposera très probablement sur un **triptyque fulgurance / saturation / paralysie** s'organisant comme suit :

- ➔ **La destruction des cibles de haute valeur du dispositif de surveillance par la haute vélocité, en *stand-off* (armes hypersoniques) et en *stand-in* ;**
- ➔ **La suppression/destruction des effecteurs les plus performants par saturation de l'espace *stand-in* dans la bulle d'engagement du SDAI par une masse de systèmes autonomes (drones/munitions) opérant avec des plateformes pénétrantes ;**
- ➔ **Parallèlement, la paralysie du C2 par l'action cyber-électronique ;**
- ➔ **L'intégration de ces opérations de SEAD avec la chasse nécessaire pour contrer la partie aéroportée du SDIA ;**
- ➔ **L'ensemble aboutissant à la désintégration du SDAI ;**
- ➔ **Enfin, l'attrition des autres éléments (TEL SALP, défenses de point) par la puissance aérienne de combat plus classique.**

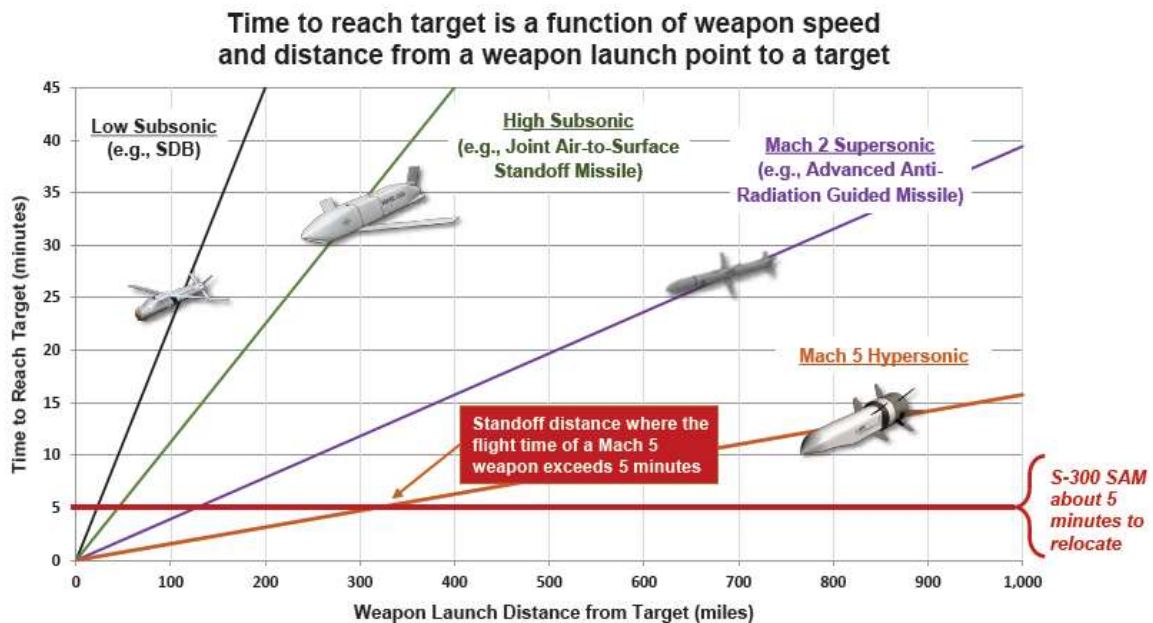
Schéma présumé du « contre-SDAI » émergent de l'USAF (& USN ?)



A. La frappe hypersonique d'aveuglement des radars d'alerte précoce

Le premier problème à résoudre est **de neutraliser les capacités d'alerte précoce et les radars d'acquisition des SALP**. Face à un SDAI classique disposant de capacités de détection uniquement de surface et juxtaposant ses effecteurs d'interception même longue portée, les missiles de croisières actuels (TLAM, JASSM-ER) ou qui seront disponibles à court terme,

volant à basse altitude, permettent de l'entreprendre. Face aux défenses en cours de constitution, disposant d'une architecture de détection multidomaine et maillant leur capacités de détection, leurs effecteurs sol-air et air-air, la furtivité partielle et la vitesse réduite (haut subsonique) de ces engins deviennent des handicaps majeurs. Ces missiles mettraient de l'ordre d'une heure pour atteindre un objectif situé à 900 km. Ce délai laisse le temps à une défense compétente d'exécuter une manœuvre coordonnée de relocalisation des radars et de se préparer à neutraliser ces vagues de MdC par ses « goalkeepers » et ses moyens de GE. En revanche, c'est dans **cette mission de SEAD antiradar que peuvent probablement exceller les armes hypersoniques à longue portée (plusieurs milliers de km)** : le *Long-Range Hypersonic Weapon* (LRPW) de l'Army, le *Conventional Prompt Strike* tirés des SNA Virginia Block V de la Navy, enfin pour l'USAF, l'*AGM-183A Air-Launched Rapid Response Weapon* (AARW) tirés des bombardiers B-52 et B-1B et à plus long terme, le missile de croisière à superstatoréacteur *Hypersonic Air-breathing Weapon Concept* (HAWC).



« Importance de la proximité pour des cibles hautement mobiles ou rapidement localisables » Source : Mark Gunzinger, Carl Rehberg, Lukas Autenried, Five Priorities for The Air Force's Future Combat Air Force, Center for Strategic and Budgetary Assessments, January 2020, p. 158.

La charge utile des trois premiers programmes qui sont des armes à planeurs, est faible, de la catégorie des 250 kg, et n'offre pas de capacité de pénétration importante contre des cibles durcies, ce qui les confinera probablement au ciblage d'objectifs de haute valeur HVT fixes ou relocalisables en quelques heures, peu durcis. Cela en fait donc des armes idoines pour, précisément, traiter les radars. La charge offensive de ces missiles hypersonique ne sera pas nécessairement constituée d'une tête explosive. L'option d'une charge d'attaque électromagnétique de forte puissance (*High Power Electromagnetics*, HPEM) ou micro-onde de forte puissance (*High Power Microwave*, HPM) apparaît en effet crédible. Les Américains semblent déjà disposer de missiles opérationnels dotés de telles charges (*Counter-Electronics High-Powered Microwave Advanced Missile Project* (CHAMP) / peut-être *High Power Joint Electromagnetic Non-Kinetic Strike* (HIJENKS) sur JASSM-ER (d'une charge utile de 454 kg)³¹. Il

est donc raisonnable d'anticiper que les progrès en matière de *seize, weight and power* (SWAP) permettent d'ici peu de déployer de telles charges dans des têtes deux fois moins lourdes, permettant l'emport par missiles hypersoniques. L'Army œuvre de son côté à des charges de type munitions maraudeuses. C'est ce que l'on déduit de la « divulgation accidentelle » du programme de *Loitering Weapon System* « Vintage Racer », qui envisage le déploiement hypersonique d'un drone suicide en mesure de marauder 60 à 90 minutes sur sa zone³².

Ajoutons que dans une logique de diplomatie coercitive, sur cibles fixes, comme Hamilton, la frappe hypersonique permet d'éviter toute confrontation avec les systèmes de défense locaux et fournirait une démonstration de force significative.

B. La saturation par système autonome, puissance de feu standoff et vecteurs pénétrants

Si les radars d'alerte précoce sur site fixe et ceux des SALP dont les sites sont connus peuvent être traités de la sorte en ciblage à temps (*Deliberate targeting*), on peut gager que l'adversaire ne dévoilerait qu'au moment nécessaire bon nombre de ces derniers. La SEAD verse donc à ce stade dans le ciblage d'opportunité contre les objectifs de haute valeur tels que les radars des SALP et des SAMP, les aérodromes, les sites C2. Or, si les Américains possèdent, de loin, la gamme la plus étoffée et diversifiée de capteurs ISR et le *networking* le plus abouti, ils ne disposent pour l'instant sans doute pas de beaucoup de capacités de surveillance pénétrante en mesure d'alimenter ces cycles de ciblage d'opportunité au cœur des espaces adverses. Celles-ci résident dans des systèmes tels que le drone RQ-180 furtif et sont appelés à se renforcer dans le domaine spatial (voir infra).

Le second élément, dès lors complémentaire de l'hypervélocité et peut-être le plus intéressant, est de toute évidence la mise sur pied d'une **architecture permettant la saturation à courte portée de ces menaces, tant dans le domaine ISR que dans celui des effecteurs, cinétiques et non-cinétiques**. Elle combine :

- ➔ Une combinaison de systèmes autonomes, incluant la dronisation massive de la zone tactique, le développement de la puissance de feu de précision *stand-off* longue portée et la convergence drones/munitions ;
- ➔ Les plateformes pénétrantes ;
- ➔ Les effets multidomains.

▶ Les programmes façonnant un futur dispositif de saturation semi-autonome

Plusieurs programmes donnent corps à la constitution future d'un dispositif de saturation semi-autonome :

- ➔ **La démonstration *Gremlins*** pilotée par la DARPA. Elle vise à tester les techniques de lancement et de récupération par avion, de même que le fonctionnement en essaim, de petits drones tactiques, les X-61A Gremlins, engins de 700 kg, en mesure de marauder une heure à 550 km de leur point de lancement, d'embarquer une

charge utile de 65 kg EO/IR, SAR, ESM, attaque électronique ou cinétique, donc de constituer un missile de croisière³³. Il est probable que compte tenu de la masse de munitions disponibles par ailleurs, ces coûteux Gremlins soient prioritairement grésés en plateformes ISR ;

- ➔ **L'ADM-160 *Miniature Air-Launched Decoy (MALD)***, aussi développé sous les auspices de la DARPA en 1995, est un engin de 113 kg qui file à vitesse subsonique élevée et porte à plus de 900 km avec une capacité de maraudage. Plusieurs versions se sont succédé : ADM-160B, dédié au leurrage, puis ADM 160J ajoutant une capacité de brouillage ainsi qu'une liaison de données vers l'opérateur de GE. Un millier d'exemplaires avait été acquis en 2014 par l'USAF. La Navy développe enfin le MALD-N, capable d'opérer en essaim et de réaliser des attaques électroniques « complexes ». Elle entend en acquérir 250 exemplaires pour une *initial operational capability* (IOC) en 2022³⁴.
- ➔ **La *Golden Horde Science And Technology Demonstration***. Elle représente l'un des trois nouveaux projets de CD&E « d'avant-garde » que doit réaliser l'Air Force à court terme. Elle va consister à interconnecter les munitions existantes pour les faire opérer en essaim : la nouvelle GBU 53 *Small Diameter Bomb II StormBreaker* de moyenne portée à guidage tri-mode, le JASSM-ER et le nouveau MALD opérant probablement à tout le moins en brouillage de couverture pour ces munitions, sinon dans des modes d'action plus sophistiqués³⁵.
- ➔ **La *Low-Cost Attritable Strike UAS Demonstration (LCASD)***, élément du projet de *Low Cost Attritable Aircraft Technology* (LCAAT). Elle sera centrée sur le drone subsonique peu observable XQ-58 Walkyrie de Kratos, en mesure d'embarquer deux GBU-39 SDB I sur un rayon d'action de près de 2800 km, pour un coût unitaire de 2 à 3 M\$ en fonction de la quantité de plateformes anticipée³⁶. Le XQ-58 Walkyrie sera utilisé comme plateforme de test de Skyborg, l'intelligence artificielle (IA) permettant de contrôler le Loyal Wingman, l'un des deux autres programmes de démonstration d'avant-garde³⁷. À noter que l'Air Combat Command étudie le remplacement des 325 F-16 Block 25/30, les plus anciens (sur 1037 Falcon en inventaire) non plus par des F-35A mais par ces drones « attritables » dans les 5 à 8 ans³⁸. A moyen-long terme, l'Air Force se reposera aussi sur le système de drones MQ-X devant remplacer les MQ-9 Reaper.
- ➔ La Navy destine également probablement ses plateformes sous-marines, tant les SNA que les *Unmanned Undersea Vehicle* (UUV) aux missions de SEAD par la mise en œuvre des TLAM mais aussi d'essaims de drones aériens. La seconde phase de **l'expérimentation *Low-Cost UAV Swarming Technology (LOCUST)*** vise précisément à tester le déploiement depuis un grand drone sous-marin (*Extra Large UUV, XLUUV*) d'un tel essaim de plusieurs dizaines de mini-drones *Coyotte* employés en munitions maraudeuses pour des missions de « *counter-IADS* »³⁹. Cette expérimentation est à mettre en relation avec le discret programme de ***Netted Emulation of Multi-Element Signature against Integrated Sensors (NEMESIS)*** visant à développer une architecture de guerre électronique collaborative distribuée sur de multiples systèmes autonomes et habités⁴⁰.

On peut anticiper à cet égard que le *networking* que préfigure la « horde d'or » englobe à terme les drones comme les Gremlins aérolargués et les Walkyrie, ce que facilite au

demeurant l'identité des industriels à la pointe sur l'ensemble de ces projets, le triptyque Dynetics, Kratos et Raytheon.

En complément de ces éléments, il convient de souligner **l'effort de l'USAF pour étoffer de façon significative sa puissance de feu de précision *stand-off***. Si l'accélération du rythme de production et les nouvelles cibles d'acquisition du JASSM-ER sont soutenues dans le temps, les Américains disposeront dans 10 ans de près de 15 000 missiles de croisière, en additionnant ces JASSM et les Tomahawk de la Navy⁴¹. Il s'agit de tenter de placer la puissance de feu *stand-off* à hauteur des exigences d'un affrontement soutenu avec l'un des deux compétiteurs, non plus avec un *Rogue State*. Ajoutons que plusieurs milliers de ces JASSM, doivent être de la nouvelle version JASSM-D, équipée d'une BLU pénétrante en mesure de frapper des objectifs durcis, ce qui est de nature à élargir, dans une certaine mesure, les effets réalisables à ces portées contre les sites C2 durcis du SDAI ennemi.

► **Le rôle des plateformes : « quarterback » et extension de la puissance de feu à grande vitesse**

Ces centaines de drones /munitions seraient tirés soit par des plateformes opérant depuis des distances de sécurité (B-52, C-130, etc.) soit par les plateformes furtives pénétrantes (futur B-21 Raider, F-35). L'emploi de la SDB II dans la *Golden Horde*, si elle ne relève pas de la simple opportunité technologique, implique que ces appareils soient employés simultanément. **Les B-21 et/ou F-35 seraient très certainement utilisés comme « quarterback » de ce réseau de systèmes autonomes,** même si on peut penser que ces systèmes pourraient aussi être orientés, via des drones relais, par *reachback* vers des plateformes habitées à plusieurs centaines de kilomètres.

Bon nombre de ces plateformes pénétrantes utiliseraient de surcroît une puissance de feu moyenne portée, dépassant les 100 km et pour partie vélocité Elle est incarnée par les SDB II, les *Long-Range JDAM* et plus sûrement les nouvelles *Stand-in Attack Weapon (SiAW)*. La SiAW doit exploiter la technologie du nouveau missile antiradar *Advanced Antiradiation Guided Missile - Extended Range (AARGM-ER)*, notamment sa vitesse supersonique et son allonge (200 km), pour conférer à ses plateformes une option de ciblage d'opportunité à moyenne portée, pour « *défaire les cibles rapidement relocalisables qui créent l'environnement Anti-Access/Area Denial (A2/AD)* » incluant donc les radars et tracteur-érecteur-lanceur (TEL) du SIDAAM. **Ce recours à la grande vitesse du missile antiradar pour les MGP à moyenne portée témoigne d'une évolution notable de la pensée de l'USAF⁴².**

Dans le cas d'un conflit contre la Chine, les EA-18G Growler de la Navy, seules « véritables » plateformes SEAD, seraient évidemment mises à contribution si les porte-avions étaient engagés. Ils disposeront de la nouvelle famille du *Next-Generation Jammer (NGJ)* incrémentalement développé pour couvrir, à plus grande distance et de façon plus flexible que le système précédent, l'ensemble des bandes de fréquences des radars adverses (y compris les bandes basse fréquences), et de l'AGM-88G AARGM-ER, déjà évoqué, et dont l'IOC est espérée pour 2023⁴³. Cela étant, les Growler sont censés opérer à « distance de sécurité ». Or, avec des portées de l'ordre de 200 km, ils restent dans l'enveloppe de tir des SALP. On peut donc penser qu'ils seraient surtout sollicités une fois le dispositif autonome mis en place,

lequel contribuant au demeurant à développer leur ODBE, afin de neutraliser incrémentalement les systèmes SAMP.

Pour générer un nombre conséquent de tirs hypersoniques puis cet effet de saturation, l'un des défis majeurs de l'USAF est d'avoir **la puissance de feu « instantanée » suffisante**. En la matière, le goulet d'étranglement réside actuellement dans **l'inventaire de plateformes** que peut aligner une Air Force « anémiée » et dont la flotte de bombardier vieillissante affiche une disponibilité opérationnelle catastrophique. Les efforts vont bon train pour développer les capacités d'emport des B-52 et B-1B, solliciter les appareils de transport comme le C-17 pour larguer des munitions, et font renaître le débat sur la nécessité de se doter d'un « Arsenal Plane »⁴⁴.

► **L'indispensable chasse**

La SEAD devient totalement indissociable des autres capacités de *counterair*, bien entendu les capacités d'*attack operations* contre les aérodromes mais aussi la chasse fournie par **les F-22, une partie des F-35 ainsi que leurs nouveaux missiles air-air**, non seulement pour éliminer la chasse, mais aussi les plateformes d'alerte précoce aéroportées de l'adversaire dont on a évoqué l'importance croissante, notamment du côté chinois.

Pour l'avenir, il est évident que la SEAD sera avec la chasse l'une des capacités essentielles des programmes futurs de **Next-Generation Air Dominance (NGAD)**. L'Air Force en a lancé le développement et aurait déjà testé un prototype. Elle semble s'orienter cependant vers un système de systèmes, à l'image du système de combat aérien du futur (SCAF), plus que sur une unique plateforme. Il est probable que ce système reprenne les besoins exprimés initialement avec le projet de *Penetrating Counterair* (PCA), notamment une furtivité plus large bande que celle des F-22/F-35. La Navy doit encore définir précisément son besoin (appareil FA-XX), n'ayant achevé son analyse d'alternatives qu'en 2019.

► **La paralysie par le Cyber tactique**

Ce dispositif de système autonomes, plateformes pénétrantes et SEAD appliquerait probablement, en sus des effets cinétiques et d'attaque électronique classique, des **effets de paralysie dans le domaine cyber par l'intrusion électronique**, via des vecteurs comme les MALD-X, les drones type Gremlins, les EA-18G grâce au couple radar à *active electronically scanned array* (AESA)/NGJ, dont l'intrusion EM est une des capacités revendiquées, et l'EC-37 Compass Call (qui remplacera l'EC-130H à partir de 2023). Contrairement à un dispositif expéditionnaire *ad hoc*, un SDAI comme ceux de la Chine ou de la Russie présente en effet un gros désavantage : dans la mesure où ces structures maintiennent des postures de sûreté permanentes et s'entraînent régulièrement, elles offrent des cibles permanentes aux efforts de renseignement (depuis l'espace extra-atmosphérique, aérien, la mer, le cyber, etc.) et d'affinage des analyses systémiques. Cette vulnérabilité est certes mitigée par la sécurité des opérations mais elle est probablement réelle. Le programme Suter montre que les Américains pratiquent du ROC sur ces systèmes de défense depuis au moins 20 ans.

Un tel dispositif permettrait **une véritable « occupation aérienne » (pour reprendre le terme de Jean-Christophe Noël) de la zone de contact** par des centaines de drones/munitions et des

dizaines de plateformes pénétrantes à munitions véloces. Cette noria installerait au moins dans la phase initiale de l'engagement une capacité ESM, puis de leurrage, de brouillage, d'intrusion EM déroutant et dispersant les efforts du SDAI et de ciblage d'opportunité forçant au final les radars adverses au silence ou à des modes d'action de « *shoot and scoot* » ne permettant plus une couverture pérenne de la zone. Elle autoriserait un effort de destruction des TEL, des capacités des aérodromes, etc.

C. La puissance de feu aérienne « classique » pour l'exploitation

Une fois le système adverse suffisamment affaibli, dans une situation de supériorité aérienne relative, la force aérienne de combat classique (appareils de génération 4, 4,5) serait en mesure de progressivement détruire les autres éléments du SDAI (TEL, sites C2, stock de missiles, soutien, etc.), mettant en œuvre des dizaines de milliers de munitions d'effets variées (pénétrantes, effets ajustables, etc.) à plus courte portée.

1.1.3. Le contre-SDAI, priorité de l'Army

Le contre-SDAI est, avec le contre-*Integrated Fires System* l'une des deux priorités du concept des *Multi-Domain Operations* (MDO) de l'US Army lequel réside en cas de conflit dans une manœuvre « pénétrer » / « désintégrer » / « exploiter » permettant de vaincre ces capacités A2/AD adverses. Pour ce faire, l'Army compte prioritairement sur deux ensembles de moyens : ses *Long-Range Precision Fires* (LRPF), priorité n°1 de sa stratégie de modernisation, et ses systèmes de *Future Vertical Lift*, priorité n°3 de cette stratégie.

A. Les Long-Range Precision Fires, éléments capitaux de contre-SIDAAM

La SEAD est une mission offensive de la *Field Artillery* depuis de nombreuses années. Dans ce contexte, la vaste entreprise des LRPF de l'Army permet de considérer le traitement de cibles à des distances très supérieures aux portées de détection de l'intégralité des systèmes sol-air existants. L'Army entend en effet doubler la portée de l'ensemble de ses effecteurs d'artillerie dans la prochaine décennie.

- ➔ L'accroissement de portée de **l'artillerie canon** vers les 70 km (objectif de l'*Extended Range Canon Artillery* - ERCA), voire les 120 à 150 km (calibre supérieur à 60 associé à des munitions propulsées) laisse envisager une capacité d'engagement contre la totalité des systèmes sol-air courte et moyenne portée. L'artillerie canon peut ainsi se substituer partiellement aux roquettes guidées, allégeant la contrainte logistique et la vulnérabilité des moyens de feu.
- ➔ **Les roquettes guidées de diamètre moyen**, de type 227 mm, permettent d'allonger la portée d'engagement vers les 150 km. C'est le programme de *Extended Range – Guided Multiple Launch Rocket System* (ER GMLRS). Actuellement, l'Army prévoit des têtes unitaires et à effets de zone (*Alternate Warhead* à fragmentation) afin de palier une localisation insuffisante ou une cible spatialement étalée, un tir de salve permettant de neutraliser plusieurs hectares. De plus, les tests réalisés avec succès par Boeing et Saab pour adapter la charge de la GBU-39 SDB I sur la GMLRS laissent envisager des évolutions permettant de traiter des C2 durcis de surface ou des zones de stationnement protégées.

Relativement mobiles, les lance-roquettes multiples peuvent participer à un raid d'artillerie (y compris aéroportés) et générer des vulnérabilités supplémentaires. Les ER GMLRS pourront donc être employés tout aussi efficacement en saturation ou en ciblage de précision, actuellement dévolu à l'ATACMS.

- ➔ **Le Precision Strike Missile (PrSM)** annonce à lui seul une révolution de la mission SEAD. L'objectif est de développer un engin de diamètre moyen (400 mm), déployé en complément aux ATACMS actuels sur le même type de plateforme (M270 ou MTV), mais capable d'atteindre des cibles à 500 voire 600 km de portée. Utilisés comme des unités de première ligne, ces systèmes disposeront d'une allonge suffisante pour exposer la totalité des systèmes sol-air existants sur un théâtre, obligeant les futurs adversaires à repenser le déploiement de leurs architectures de SDAI y compris au niveau stratégique.

Le plus gros problème de l'Army pour réaliser ces effets réside évidemment dans **le dispositif ISR autorisant la chaîne de ciblage, la réalisation du *Sensor-to-Shooter* dans cette profondeur opérative**. Le service manifeste l'intention depuis plusieurs années de pouvoir déployer, au moins avec le PrSM, des capteurs ou des munitions maraudeuses. Cela étant, les programmes concrets ont été lents à prendre forme⁴⁵. Les choses s'accroissent cependant. La priorité à court terme est d'améliorer significativement la fusion du renseignement émanant des capteurs actuels des autres services. L'Army l'entreprend actuellement au travers du vaste programme de *Multi-Domain Sensing System* (MDSS) incluant par exemple les stations *Tactical Intelligence Targeting Access Node* (TITAN), en mesure de fusionner et d'exploiter (avec intelligence artificielle, etc.) les données de l'ensemble des capteurs spatiaux (voir ci-dessous) et aériens⁴⁶. Il s'agit également d'optimiser puis de refondre à plus long terme son architecture d'*Airborne ISR*, en misant sur des drones peu coûteux, puis en démultipliant les capteurs, leur mise en réseau, en se dotant d'une nouvelle génération d'équipements, notamment de drones, plus survivables, etc.

B. **Le Future Vertical Lift pour le combat rapproché et l'éclairage**

L'Army entent également contourner ce gap de capacités organiques ISR longue portée survivable, avec sa vaste entreprise du *Future Vertical Lift*⁴⁷. Le FVL doit remplacer les plateformes de l'*Army Aviation* par un « système de systèmes » de nouvelles plateformes habitées, drones et munitions. Deux éléments de cet ensemble doivent explicitement jouer un rôle important dans le contre-SDAI⁴⁸ :

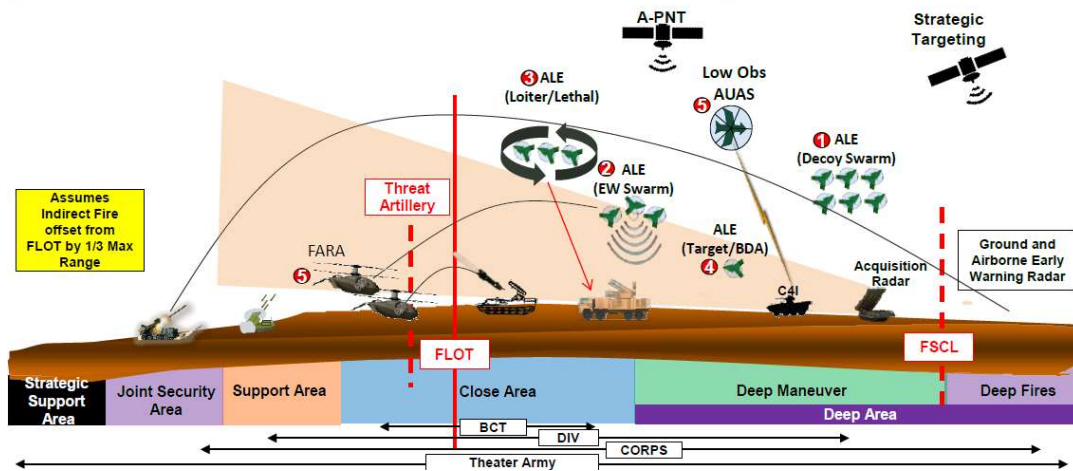
- ➔ Le **Future Attack Reconnaissance Aircraft (FARA)**, un appareil hybride devant constituer le « combattant au couteau » de l'*Army Aviation*, en mesure d'éviter la détection, plus par sa vitesse que par sa furtivité, pour constituer la pièce centrale du « bréchage » du SDAI adverse. Au-delà de l'attaque directe d'objectifs, le FARA doit jouer le rôle de « *digital quarterback* », à l'instar du F-35 et du B-21. Il devra ainsi opérer en *Advanced Teaming*⁴⁹ tant avec les drones qu'avec des munitions maraudeuses et de nouveaux missiles longue portée. De plus, il doit fournir du renseignement de ciblage aux postes de commandement (PC) et unités de LRPF ;
- ➔ Ces drones/munitions maraudeuses, ce sont **les Air Launched Effects (ALE)**. Ils disposeront de charges diverses qui en feront les véritables éléments au contact de l'aviation légère de l'*Army Aviation* en contre-A2/AD : ISR/ évaluation des

dommages, attaque cinétique et brouillage *stand-in*, désignation d'objectif, leurres, etc. Ces engins doivent de plus opérer en essaim. Le besoin de l'Army semble s'orienter vers deux catégories d'ALE pour le maraudage lent et pour des actions plus rapides et de plus longue portée⁵⁰.



“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.

Cela étant, le concept interroge. Depuis les dommages enregistrés par les Apache face aux Irakiens à Kerbala en 2003, la mission d'attaque dans la profondeur, bien que présente dans la doctrine, n'est plus un mode d'action privilégié. Le FARA ne sera donc pas employé de façon autonome dans cette profondeur, il devrait **évoluer « over the shoulder » des forces terrestres⁵¹**, ce qui pose le problème de son allonge et de celles de ses ALE pour réellement menacer les sites SALP.

1.1.4. De multiples « enablers »

A. Les architectures spatiales

Les architectures spatiales – ISR, communications, *positioning, navigation and timing* (PNT) – sur lesquels s'appuient les opérations de SEAD et plus généralement de contre-SDAI connaissent une profonde transformation⁵². Cette dernière est fondée principalement sur la « désagrégation » des fonctions sur plusieurs constellations et la démultiplication des satellites en orbites basses et moyennes offrant des performances inédites en matière de communications par satellite (SATCOM) ou, concernant l'ISR, devant agréger un taux de revisite pouvant aller à quelques dizaines de minutes sous certaines conditions. Les capacités ELINT semblent bénéficier de modernisation dont on sait cependant peu de chose. Ensuite,

les capacités ROIM américaines tirent parti, en complément des ressources souveraines (optique KH-11/radar TOPAZ) de la multiplication des constellations commerciales de microsattellites en orbite basse (*WorldView Legion* du partenaire historique Maxar Technologies, Planet et Blacksky Global). Ces capacités sont de plus en complétées par les nouveaux capteurs de la mission *Overhead Persistent IR* (OPIR). Initialement dévolus à la détection des missiles balistiques, ces capteurs disposent d'une qualité de détection qui les destine de plus en plus à l'appui ISR au profit de missions comme la SEAD. La transformation affecte tout autant les SATCOM : formes d'onde plus protégées, évolution vers une architecture hybride combinant systèmes militaires et commerciaux (tel Starlink de SpaceX), sur toutes les orbites, interfacée avec la *Joint Aerial Layer Network* (JALN), couche des transmissions aéroportées. Le plus gros défi concerne en la matière la rationalisation des programmes de terminaux utilisateurs. Émulant les modèles commerciaux, le programme Blackjack de la DARPA va expérimenter une constellation de 10-20 microsattellites modulaires multifonctions. Blackjack fournit un modèle pour la nouvelle *Space Development Agency*, qui envisage à terme une architecture multicouches (COMM, OPIR, PNT, ISR) beaucoup plus étendue composée de centaines de microsattellites. La *Custody Layer* (ISR) devrait être en mesure de suivre en collaboratif des cibles d'opportunité et disposer de la L16 voire de la liaison MADL du F-35⁵³. Cependant, la concrétisation de ces architectures est encore très incertaine compte tenu de l'éclatement des responsabilités encore mouvantes entre la *Space Development Agency* (SDA), la nouvelle *Space Force*, le *National Reconnaissance Office*, NRO (etc.), entités qui sont, de plus, en désaccords sur la place à accorder à ces constellations de *small sats*.

B. L'Advanced Battle Management System (ABMS)

Le programme ABMS de l'Air Force, qui devait initialement remplacer les E-8 JSTARS puis les E-3 AWACS, représente le projet actuel d'**architecture de mise en réseau de l'ensemble des capteurs existants, des nœuds de C2 et des effecteurs, aériens, spatiaux et cyber**, soit 28 domaines fonctionnels (dont, par exemple, le fameux cloud de combat). Il est considéré depuis novembre 2019 comme l'épine dorsale, en matière de *situational awareness* et de *battle management* tactique, du **Joint All Domain Command and Control** au niveau interarmées. L'USAF le présente ainsi comme l'**Internet of Things opérationnel** des forces américaines ayant vocation à s'interfacer avec les systèmes de la Navy et de l'Army. Cet ABMS est incrémentalement développé et connaît une mise en service initiale au sein de l'USAF dès cette année⁵⁴.

C. Des multiples facteurs technologiques et industriels

De nombreux développements technologiques ou programmatiques irriguent ces projets. On évoquera par exemple :

- ➔ **Les technologies d'intelligence artificielle**, non seulement critiques pour l'ABMS mais aussi pour les systèmes autonomes (acquisition de cible autonome, navigation, etc.), ou encore la gestion flexible du spectre électromagnétique et la **Cognitive Electronic Warfare** visant à développer instantanément des contremesures sur des menaces non cataloguées ;

- ➔ **Les avancées en matière de PNT**, résidant dans le renforcement du GPS et surtout dans l'amélioration du facteur SWAP des instruments des centrales inertielles, permettent incrémentalement de s'extraire de la dépendance à l'égard de ce GPS, une évolution qui commencer à affecter à moyen terme les plateformes puis les drones / munitions lents à portée courte et moyenne ;
- ➔ **Le recours désormais légalement obligatoire aux architectures ouvertes modulaires** permettant d'accélérer les cycles de modernisation et d'améliorer l'interopérabilité.

1.1.5. Des concrétisations encore en devenir

Les conceptions présentées ci-dessus restent encore à matérialiser, ce qui ne va pas sans de nombreux défis. Par exemple, pour bon nombre d'experts, les processus d'acquisition, notamment de l'Air Force ou la Navy restent encore trop « **platform-centric** » pour permettre l'émergence d'une telle architecture. De plus, la coexistence de ces deux dispositifs de contre-SDAI, Air Force(/Navy) et Army implique **un important effort d'intégration interarmées**, à commencer par une refonte du corpus des *Joint Doctrine*. Ce dernier, héritage des enseignements des guerres d'Irak, reste fondé sur une répartition des zones de responsabilité entre les composantes, délimitées par des lignes géographiques (FLOT, *Fire Support Coordination Line*). Les concepts et capacités esquissés ci-dessus rendent cette géographie de l'espace opérationnel obsolète et nécessitent de nouveaux mécanismes pour développer une réelle synergie « *All Domain* » entre ces composantes dans toute la profondeur du dispositif adverse.

1.1.6. L'approche britannique

Les Britanniques semblent suivre la voie américaine. Ils entendent ainsi moderniser progressivement leur capacité SEAD en premier lieu autour de la solution *manned-unmanned teaming* et de l'attaque de saturation *stand-in*. Ces capacités reposent à moyen terme sur, d'une part, le brouilleur BriteCloud de Leonardo, d'autre part le mini-missile de croisière *network-enabled* SPEAR de MBDA (sorte de SDBII propulsée) de 100 km de portée, évolution du Brimstone et nouvel armement air-sol des F-35 et Typhoon. Le BriteCloud doit ainsi être intégré au missile de MBDA le cadre du démonstrateur SPEAR-EW, pour réaliser des attaques en essai⁵⁵. La RAF vient dans ce contexte de réaliser une expérimentation de SEAD reposant sur un essaim de mini-drones Callen-Lenz équipés de ces brouilleurs⁵⁶.

En second lieu, Londres s'est lancé dans la course à l'hypervélocité, espérant aligner une première capacité en 2023. Le DSTL travaille ainsi avec l'AFRL sur un programme de planeur lancé de 747 de portée moyenne (2500-3000 km), un engin plus lourd et plus complexe que les projets américains de court terme. En la matière, la coopération est essentielle avec les Américains sur le plan des capacités industrielles relatives à la motorisation notamment⁵⁷. Mentionnons par ailleurs la collaboration avec la France sur le futur missile antinavire développé par MBDA mais sur laquelle les Britanniques miseraient plus sur la furtivité que la vitesse.

La capacité SEAD sera évidemment l'une des capacités majeures du *future combat air system* (FCAS) Tempest. Les brouilleurs de Leonardo sont ainsi partie intégrante du programme du

Lightweight Affordable Novel Combat Aircraft (LANCA), intégré au FCAS, visant à développer un drone *loyal wingman* peu observable bas coût pour les F-35, Typhoon et Tempest. Elle poursuit actuellement le développement d'un démonstrateur (projet Mosquito) qui doit voler en 2022⁵⁸.

1.2. Approches russe et chinoise

1.2.1. Les défis que posent les SIDAAM occidentaux pour les Russes et Chinois

Bien que la défense aérienne ait été largement négligée du côté occidental, Russe et Chinois sont confrontés à un certain nombre de difficultés dans la réalisation de la mission SEAD.

Les architectures de défense occidentales sont encore relativement dépeuplées, articulées autour de systèmes peu mobiles opérant sur des portées limitées, notamment du fait des limitations des capteurs. Les défenses terminales, peu modernisées voire déliquescents, ont actuellement des capacités limitées voir nulles contre les MGP, notamment les munitions hautement supersoniques. En l'état, l'essentiel de ces faiblesses occidentales découlent de la conception même du rôle de ces systèmes envisagés comme un complément défensif et statique à la puissance aérienne et essentiellement dévolu à la protection des points fixes et à la couverture de zone à partir des arrières. La focalisation sur la défense antimissile, soit en tant que défense antimissile balistique (DAMB), soit, depuis une décennie en tant que SIDAAM a probablement aggravé cette tendance, conduisant les planificateurs à privilégier les performances des effecteurs et des capteurs en cours de développement, mais à négliger la survivabilité du système d'arme, le système Sol-air de moyenne portée/terrestre (SAMP/T) faisant ici exception. Parallèlement, les retards pris dans le développement des intercepteurs courte/moyenne portée couvrant les basses couches et certains types d'intercepteurs de MGP (typiquement de type IRIS-T SL allemand dans une architecture PAC-3) conduisent à faire reposer la majorité des défenses sur des intercepteurs relativement rares et sur un nombre de batteries limitées, notamment si une manœuvre terrestre doit être considérée.

La faible mobilité des architectures occidentales ne devient une vulnérabilité majeure que si leurs éléments peuvent être réacquis par le ciblage adverse une fois la dispersion réalisée et si des moyens de frappe de portée suffisante peuvent leur être affectés. Sur ce plan, pour les Russes, la supériorité aérienne occidentale représente le défi majeur de tout effort de SEAD dans la grande profondeur tactique en dehors de la destruction de sites fixes connus comme ceux des radars TPY-2 voire des SAM en défense statique.

Pour la Chine, la tyrannie des distances affectant les Américains dans le Pacifique réduit ce problème de supériorité aérienne et le déploiement américain reste actuellement concentré sur quelques sites (Kadena, Guam, etc.). Cela étant, la stratégie américaine en zone INDOPACOM, visant précisément à disperser les forces et à multiplier les sites de déploiement, est de nature à accroître les défis du ciblage.

Si l'on peut anticiper que la modernisation des matériels et des architectures (voir infra) limite la capacité de la Russie à réaliser la mission SEAD, l'analyse est plus complexe pour la Chine, la neutralisation des capacités de détection et de frappe requérant des moyens nettement plus complexes que pour la Russie.

1.2.2. L'approche russe de SEAD

La principale difficulté à laquelle est confrontée l'analyse d'une acception russe des missions SEAD est tout simplement que le terme n'existe pas *en soi* dans son glossaire stratégique. Il ne correspond pas non plus, comme dans l'approche occidentale, à un concept d'opérations dédiées à une mission spécifique. Dans la littérature russe, la « neutralisation de la défense aérienne ennemie » (*Подавление вражеской ПВО*), n'est ainsi reprise *in extenso* que pour décrire les modes opératoires occidentaux dans les guerres « locales », de l'ex-Yougoslavie à la Libye. Elle ne se voit analysée qu'au prisme de la menace qu'elle représente d'une neutralisation des forces de défense aérospatiale russe en préambule à des « frappes désarmantes » contre son système militaire et politique⁵⁹. Bien entendu, la problématique d'une confrontation avec un SDAI hostile n'est pas écartée des considérations opérationnelles. Seulement sa prise en compte par les forces russes s'inscrit dans une **conception asymétrique de la supériorité aérienne** (*Превосходство В Воздухе*) qui accorde à la neutralisation des batteries de défense anti-aérienne une **importance subsidiaire** dans son schéma d'opération et préfère **l'intégrer de façon tactique comme une mesure *ad hoc* de préparation puis de soutien à la frappe dans la profondeur.**

A. L'objectif de suprématie aérienne et l'importance subsidiaire de la lutte contre la défense anti-aérienne.

L'approche russe et soviétique s'apparente moins à l'établissement d'un degré de contrôle sur l'espace aérien qu'à une **recherche de la supériorité des feux sur l'ensemble du spectre aérospatial. Celle-ci se conçoit à la manière d'un effort de *counter-air* interarmées** qui renvoie à la conception par les Soviétiques puis les Russes, de la puissance de feu comme un élément de manœuvre. Elle comprend ainsi à la fois l'action de la défense aérienne (intercepteurs, batterie anti-aérienne) mais aussi une capacité de frappe préventive et de représailles contre les C2 et aires de rassemblement principales de l'adversaire⁶⁰, classiquement ses bases aériennes⁶¹. Cette approche dite de « défense-offensive » a été optimisée par la création des VKS, les forces aérospatiales, en 2015, branche unifiée des forces de l'Armée de l'air (VVS) avec celle de défense aérienne (VVKO) et a entraîné la fusion consécutive des concepts d'opérations aériennes offensives et défensives sous le terme de « direction stratégique aérospatiale » (*Стратегическое воздушно-космическое направление- операция* ou SVKN-O)⁶².

La contribution des « opérations aériennes » (*Воздушная операция*) à la supériorité aérienne s'effectue ainsi en collaboration avec les forces d'artillerie, de défense aérienne et les forces balistiques, non pas organisées en fonction de leur milieu ou domaine d'action, mais selon un principe d'échelonnement des feux dans l'ensemble de la profondeur d'une *direction des opérations*, axe d'effort principal d'un *théâtre d'opération* (TVD). Le choix de tel ou tel système de frappe pour réduire voire neutraliser les interférences d'un dispositif aérospatial hostile s'opère ainsi :

- ➔ Négativement selon ses vulnérabilités ;
- ➔ Positivement selon sa plus-value vis-à-vis des autres systèmes de frappe, évaluée en fonction du volume et de la précision du feu que ce système peut générer pour une portée donnée.

Dans cette approche, les opérations aériennes sont perçues par les Soviétiques puis les Russes comme l'instrument le mieux à même de neutraliser des cibles mobiles et fugaces. Elles se placent ainsi en appont des feux de l'artillerie dans la profondeur tactique établie à 100 kilomètres comme *aviation d'armée* puis au-delà comme *aviation de front* (*Фронтвая авиация* ou *ФА*) ou comme *aviation tactico-opérative*. Dans cette profondeur s'établissant de 100 à 500 kilomètres, son action est poursuivie avec les forces balistiques de type OTR-21 Toshka (SS-21) et Iskander-M (SS-26) qui se concentrent quant à elles sur la destruction de cibles fixes à haute valeur dont le niveau de protection anti-aérienne est jugé plus élevée. Il faut par ailleurs remarquer ici que le Toshka aurait bénéficié du développement dans les années 1970 d'une version antiradar⁶³.

Dans cette perspective, le ciblage de la défense aérienne ennemie par l'aviation apparaît par conséquent contre-productif puisqu'il propose une solution de tir par des moyens aériens intrinsèquement vulnérables à l'action anti-aérienne. Il entraînerait de surcroît une diversion des opérations aériennes de leur mission principale axée sur la recherche et la destruction des feux adverses. Si cette neutralisation des défenses anti-aériennes requiert des efforts dépassant le cadre de la profondeur tactique et requiert par conséquent l'implication de l'aviation et des forces balistiques, elle signifierait même que l'objectif d'engager décisivement l'ennemi dans le cadre d'un conflit limité a échoué.

Autrefois simplement considérée comme une puissance de feu déportée voire comme une artillerie aéroportée subordonnée à l'échelon terrestre, l'aviation semble cependant s'émanciper de cette mission⁶⁴. Par l'avènement des frappes de précision dans la profondeur (*Высокоточное оружие* ou *VTO*), elle évolue vers un rôle d'interdiction et d'intimidation en tant que système de reconnaissance et frappe défini par la simultanéité de l'identification, de l'acquisition et du traitement des objectifs. Cette croissance des responsabilités de l'aviation devrait logiquement intimer une prise en compte équivalente de la tâche de neutralisation des défenses anti-aériennes. Elle peine pourtant à se concrétiser dans la *théorie et les pratiques* des forces aériennes russes qui ne semblent pas pouvoir dépasser l'approche soviétique en la matière. Les VKS semblent en fait demeurer dans une phase de rattrapage post-soviétique accordant la priorité à la reconstitution d'une capacité minimale de frappe. Ce choix est, au demeurant, cohérent avec leur perception du caractère probable des guerres que les Russes auront à mener à court et moyen termes, autrement dit des conflits périphériques, à l'intensité locale et éventuellement régionale. Ceux-ci ne présenteraient pas de réelle contestation possible de leur supériorité aérienne par des systèmes anti-aériens suffisamment puissants. Enfin, la prise en compte de la menace OTAN de la part des Russes en tant que situations de guerre « de grande ampleur » et « globale », comporte peu de considérations sur la défaite de ses systèmes anti-aériens. La confrontation contre l'Alliance incarne en effet un degré tel de déstabilisation qu'elle n'est estimée traitable que sous l'angle de la dissuasion permise par les forces stratégiques non-nucléaires puis nucléaires ainsi que de façon émergente par la constitution d'une force de dissuasion conventionnelle.

B. L'organisation de la lutte contre les défenses anti-aériennes, en théorie et pratique : une considération nécessairement tactique.

L'objectif de supériorité aérienne procède ainsi de deux constats concernant les opérations aériennes :

- ➔ L'aviation est jugée trop vulnérable pour assurer seule la pénétration d'un SDAI hostile et nécessite une préparation interarmées ;
- ➔ La confrontation de l'aviation à des systèmes anti-aériens demeure inévitable mais sa menace peut être, soit traitée à distance de sécurité (moyens *stand-off*), soit être contournée par diverses contre-mesures non-cinétiques.

Cette position se traduit dans deux concepts doctrinaux ; **la P-PVO** de nature opérative, renseigne sur l'organisation interarmées de la réduction des défenses anti-aériennes dans l'objectif de la supériorité aérienne ; le second, **la PR-PVO** d'ordre tactique, apparaît comme une précision du précédent et ne concerne que la dimension aérienne de cette confrontation aux défenses antiaériennes.

▶ **La « pénétration des défenses aériennes » (ПРОРЫВ ПВО ou P-PVO)**

Il renvoie ainsi à la dimension aérospatiale de l'échelon responsable de la percée du front ennemi au sein d'un théâtre d'opération stratégique (TVD) et non à un schéma d'opération d'une campagne aérienne indépendante. De manière explicite, il fait référence à l'organisation d'un « échelon de rupture » (*Эшелон прорыва*) qui est un concept terrestre des opérations en profondeur. La P-PVO consiste ainsi en la percée et le maintien de corridors de supériorité aérienne sur les principales *directions des opérations* ou axes d'effort du TVD. Leur création doit ensuite permettre l'insertion des éléments aéroterrestres d'exploitation de la profondeur opérative adverse, à savoir au sol les Groupes de Bataillon Tactiques (GBT)⁶⁵ et dans les airs des bombardiers *tactico-opératifs* de type Su-24 et Su-34. Elle favorise la participation de l'aviation stratégique à longue distance de la famille des Tupolev. À titre d'indication, dans les années 1980, ces corridors devaient s'établir sur 40 kilomètres de largeur et 200 kilomètres de longueur au-delà de la ligne de contact pour permettre la progression de deux à trois groupes de frappe⁶⁶. Ce schéma, malgré la réduction des capacités aériennes russes, ne semble pas avoir été substantiellement réformé dans sa rationalité. Il continue d'être employé dans la littérature doctrinale récente qui se contente de l'actualiser par la description technique du développement et déploiement de nouvelles capacités.

Dans ce schéma, la suppression des défenses anti-aériennes **revêt d'abord le caractère d'une préparation d'artillerie** jugée d'autant plus efficace que ses projectiles ne sont pas sujet au brouillage électromagnétique et qu'elle permet de traiter la densité la plus forte des défenses anti-aériennes pensées se situer dans les échelons de manœuvre de l'adversaire, soit à 40 kilomètres de la ligne de contact. Elle est suppléée ensuite par les moyens de guerre électronique et, *in fine*, par la frappe à distance de sécurité de l'aviation de ligne effectuée à l'aide de missiles antiradars à propulsion solide ou de croisière. Ce mode opératoire s'appuie pour ce faire sur une détection précoce et méthodique du dispositif hostile devant être assurée principalement par les moyens aériens de collecte SIGINT opérant dans l'espace aérien ami.

Cependant cette tâche est **confrontée à la faiblesse sinon à l'obsolescence des systèmes de reconnaissance aérienne**, tant en termes d'appareils de contrôle et d'alerte avancés de type A-50 Beriev (20 appareils) qu'au niveau de l'aviation de ligne qui a retiré les intercepteurs modifiés MIG-25BM et repose entièrement sur le bombardier modifié Su-24MR. Au-delà de l'avionique vieillissante, le principal déficit semble se situer au niveau des technologies radars

dont les antennes suivent encore un principe de balayage passif (PESA) et non actif (AESA) dont seuls les MIG-35 disposent actuellement par le système *NO36 Byelka* développé pour le futur Su-57. La version modernisée du *Beriev* au format A-50U a certes permis de porter le traitement du signal de son radar Vega Schmill au standard numérique, mais un radar AESA n'est prévu que pour son successeur, l'A-100 en phase de test depuis 2017⁶⁷. L'aviation peine ainsi à déployer des moyens de renseignement et de guerre électronique capables de l'accompagner à longue distance. Elle se repose encore majoritairement sur l'*Il-20 Coot* dont la modernisation par l'*Il-22PP Porubschik* apparaît plutôt comme une solution en *stop-gap* avant de pouvoir considérer une nouvelle version sur plateforme Tu-214⁶⁸.

Ce déficit a été par conséquent :

- ➔ **Compensé par une emphase plus importante sur les capacités de reconnaissance organique des éléments d'artillerie** au niveau division et brigade, d'abord par le développement de radars de contre-batterie tel que le Zoopark-1M capable de détecter des tirs de missiles à 40 kilomètres et par le déploiement d'UAV de type Orlan-10 dont le rayon d'action s'établit à 120 kilomètres. La principale évolution dans ce domaine est la diversification de la nature des capteurs (thermique, sonique, sismique) pour émettre moins de rayonnement électromagnétique et surtout l'adoption d'un ciblage plus opportuniste par les progrès effectués dans la fusion des données entre le contrôle de tir et les capteurs⁶⁹.
- ➔ **Supplée par l'action des moyens de guerre électronique terrestres** qui sont présents au niveau de la brigade dans des compagnies dédiées et par les systèmes embarqués *Leer-3* sur UAV de reconnaissance et *Rychag Av* sur hélicoptère de transport Mi-8 devant réaliser un « blocus électromagnétique » du C4ISR adverse (voir note 1 de cet observatoire et annexe 2) ⁷⁰.

Ce n'est ainsi qu'une fois cette préparation interarmées réalisée dans le cadre de la *P-PVO* que la tâche de *surmonter* les défenses aérospatiales devient principalement une considération aérienne traduite à travers le concept de « **dépassement des défenses anti-air** » (**ПРЕОДОЛЕНИЕ ПВО**).

▶ **Surmonter les défenses anti-air (ПРЕОДОЛЕНИЕ ПВО ou PR-PVO).**

Ce dernier terme se révèle réunir avant tout des considérations tactiques renseignant l'équipement de guerre électronique, les munitions antiradar, l'ordre et le profil de vol à adopter pour se dissimuler et éventuellement défaire la défense anti-aérienne ennemie. Il semble potentiellement incarner le pendant organisationnel des dispositifs de contre-mesures passives et actives visant à accroître la survivabilité des aéronefs en milieu non-permissif, rassemblées sous le terme proche de « moyens de surmonter les défenses aériennes » (*СРЕДСТВА ПРЕОДОЛЕНИЯ ПВО ou PR-PVO*). Ces observations demeurent en cela cohérentes avec le postulat que le concept de « dépassement des défenses anti-air » incarne la déclinaison tactique des opérations aériennes inscrites dans le schéma opérationnel des *P-PVO*.

D'un point de vue organisationnel, la *PR-PVO* s'incarne au sein du premier échelon de la force aérienne en un groupe de neutralisation anti-aérien (*групп подавления ПВО*) réunissant un sous-groupe de guerre électronique (*Группа радиоэлектронной борьбы*) et un autre de

destruction des systèmes anti-air (Группа поражения средств ПВО) parfois confondus, qui agissent en soutien au groupe chargé de la mission principale de frappe contre les vecteurs ennemis de feu dans la profondeur⁷¹. Le profil de vol est celui d'une progression à basse altitude en dessous des 100 mètres puis d'une remontée brusque pour délivrer les munitions antiradar à distance de sécurité.

Du point de vue de l'appareil de force, la flotte russe ne possède pas d'appareil dédié à la suppression des défenses anti-aériennes et préfère résoudre cette problématique selon deux axes d'effort :

- ➔ **La mise à disposition de munitions antiradar de longue portée sous la forme de missiles quasi-balistique tel que le Kh-58U⁷² ou de missiles à statoréacteur de type Kh-31** d'une portée maximale respective de 250 et 110 kilomètres. Le Kh-31 apporte une fulgurance par sa vitesse supersonique élevée (Mach 3.6). Elle se concrétiserait notamment par une nouvelle version du Kh-58, le *Kh-58UsHKE* rendu plus compacte par l'adoption d'ailes et d'un moteur rétractable⁷³. Dans ce domaine, l'évolution se porte sur l'amélioration des caractéristiques furtives, de la portée et de la mise en réseau des munitions dans l'optique de leur intégration au futur Su-57. Cet axe d'effort se complète par la démocratisation de la capacité antiradar au maximum de plateformes possibles par la modularité des missiles de portée plus courte de type Kh-25 et Kh-38.
- ➔ **Le développement de kits de brouillage individuel**, qui vont du système *Vitebsk* équipant les appareils d'assaut tactique de type Su-25 et Ka-52 au pod *Khibiny* pour les Su-30 et Su-35 et les appareils d'interdiction Su-34. Particularité intéressante, le *Khibiny* pourrait fournir un brouillage de « groupe » à plusieurs appareils en formation voire simuler la signature électronique d'appareils d'une catégorie différente⁷⁴. Ils permettent à la Russie d'assurer la destruction des batteries anti-aériennes en capitalisant sur son vaste arsenal de bombes conventionnelles.

Cette approche par la modernisation des munitions, si elle a le mérite de permettre une revalorisation des plateformes aériennes existantes, toujours en attente du futur chasseur de supériorité aérienne Su-57 PAK-FA et d'un éventuel bombardier lourd PAK-DA, les astreint *de facto* à la disponibilité des munitions guidées à longue distance. Leur rareté relative pourrait par conséquent confiner les VKS à un mode opératoire en « bastion » à l'abri de leur propre système de défense dans une situation où la redondance de la défense anti-aérienne adverse neutraliserait les kits de protection individuelle de ces appareils. La perspective d'une pénétration d'un système anti-aérien paritaire semble ainsi être reportée pour les Russes au déploiement futur du Su-57. Elle serait permise notamment par le choix de déporter une partie des capacités du PAK-FA sur un drone lourd, le S-70 Okhotnik qui assurerait une partie de la mission SEAD par l'export de capteurs et de munitions plus volumineuses⁷⁵.

1.2.3. L'approche chinoise de la SEAD

Les doctrines militaires chinoises étant mal connues, il est difficile de se livrer à une analyse des concepts opérationnels nationaux. Du fait des contraintes géographiques, il est assez probable que l'approche chinoise soit encapsulée dans les stratégies de frappe dans la profondeur, telles que développées contre Taiwan et, potentiellement contre les bases américaines dans le Pacifique.

La doctrine chinoise reconnaît pleinement le concept d'opération basé sur les effets et insiste très largement sur la neutralisation des points nodaux, avec une forte emphase sur la destruction du C4ISR adverse et la neutralisation des différents systèmes de systèmes qui composent les différentes architectures d'un dispositif de force (« information firepower strikes »)⁷⁶. Il est de ce point de vue très clair que les opérations SEAD non cinétiques jouent un rôle majeur dans l'approche chinoise mais également que les points de vulnérabilité du SIDAAM adverse seront immédiatement engagés afin de faciliter sa désagrégation. L'émergence des moyens hypersoniques accélère la transformation de la dialectique chinoise, la notion de fulgurance et de tempo se développant autour des systèmes de « reconnaissance-frappe », c'est-à-dire de systèmes de systèmes optimisant le couplage entre des effecteurs véloces et les moyens ISR. Typiquement, le développement de drones supersoniques et de drones furtifs permet d'envisager à relativement court terme l'emploi de moyens ISR tactiques, complémentaires aux moyens stratégiques, afin de faciliter la neutralisation de points nodaux sur les portées opératives en configuration non permissive. La place accordée par la Chine à l'action préemptive et à la surprise est de ce point de vue une source d'incertitude, une attaque brusquée des défenses restant une possibilité.

Depuis le début des années 2000, un travail considérable a été réalisé sur la modernisation du C2 et du C4ISR, autour d'un système de communication du même ordre que le *Joint Tactical Information Distribution System* (JTIDS) et d'un système de communication stratégique, sur le développement d'architectures interopérables et probablement, pour une partie d'entre elles, fusionnées, sur la transformation du commandement en vue d'opérations interarmées, sur la mise à disposition des capacités ISR stratégiques et tactiques au profit du commandement de théâtre. Si la Seconde artillerie, devenue Force des missiles, développe ce type d'interopérabilité depuis presque vingt ans, la réforme de 2015 place la Marine et l'Armée de l'Air au centre de la réorganisation institutionnelle et devrait conduire les deux branches à participer de façon plus systématique aux missions SEAD.

Depuis 2020, la Chine dispose d'une couverture quasi-pérenne du Pacifique en moyen satellitaire ROEM, peut s'appuyer sur une capacité SAR civile et militaire de plus en plus complète et dispose, avec les constellations civiles et militaires, d'une très importante capacité de revisite en optique. Si l'on combine ces moyens avec les capacités ISR tactiques, Pékin dispose de moyens considérables pour localiser et relocaliser les défenses et, si nécessaire, pour les engager. Il est très probable que l'utilisation systématique de l'intelligence artificielle permette aux Chinois d'accélérer l'harmonisation des architectures existantes, mais aussi d'agréger plus efficacement les données de ciblage, d'abord en temps de paix et évidemment en temps de guerre.

Au-delà de la frappe navale, la Chine travaille à l'interdiction des bases adverses afin de permettre un gain temporaire de la supériorité aérienne, le déploiement de moyens ISR tactiques et l'engagement des défenses par des frappes d'opportunité sol-sol ou air-sol. Elle serait probablement réalisée en cohérence entre les différentes armées. Les modes d'action de neutralisation de ces bases incluraient sans doute la SEAD et la neutralisation des pistes (sur laquelle la Chine travaille depuis de nombreuses années). Pour ce qui concerne les opérations contre Taiwan, le développement des roquettes lourdes guidées de longue portée permet d'anticiper des frappes de saturation sur les bases, permettant de maximiser les effets dans la durée. Toutefois, une telle logique n'est applicable qu'à des portées relativement courtes, contre un ensemble de cibles relativement restreint. Elle est donc crédible que si l'on

considère Taiwan ou quelques bases américaines clefs, où un engagement substantiel des moyens missiles pourrait conduire à la neutralisation durable des objectifs. Elle devient nettement plus difficile à considérer si les objectifs se multiplient, notamment si Pékin doit affronter une coalition impliquant le Japon, où le nombre d'infrastructures est nettement plus élevé, prévenant toute possibilité de créer les conditions de la supériorité aérienne dans la profondeur du dispositif ennemi. Dans ce sens, les opérations de neutralisation du C4ISR adverse pourraient être nettement plus importantes que celles liées à la SEAD. Elles pourraient se focaliser sur la destruction des composantes sol des infrastructures spatiales (en sus de la neutralisation de certains satellites), le ciblage des bases d'AWACS, la destruction des infrastructures de soutien des bases de F-22 et de F-35, certains points de C2 etc.

Comme évoqué supra, la capacité croissante de la Chine à dissuader les États-Unis d'exploiter leur capacité aéronavale se heurtera à la stratégie de dispersion des APOD sur une multitude de bases avancées dans le Pacifique impulsée par Washington. L'introduction d'une intimidation nucléaire, visant à dissuader les États de la région de s'associer avec les États-Unis dans le cadre d'une crise régionale peut être considérée comme un moyen SEAD possible, de nature politique dans un premier temps, de nature opérationnelle si la Chine développe une capacité de frappe de théâtre.

2. L'évolution à plus long terme de la confrontation entre défenses aériennes et SEAD en haute intensité

Sur le long terme, il convient de mesurer les interactions dynamiques entre ces évolutions de la SEAD des grandes puissances, telles que l'augmentation de la portée et de la vitesse des systèmes de frappe et l'ubiquité grandissante des différents moyens ISR et, en réaction, les transformations de leurs cibles, les SDAI (ou SIDAAM), notamment la distribution croissante des architectures ainsi que les transformations probables de leurs effecteurs lesquels vont elles-mêmes avoir un impact sur les futurs besoins en SEAD.

2.1. L'avènement des architectures distribuées en offensif comme en défensif

Le premier point concerne l'évolution des capacités ISR en appui de la SEAD ou du système de défense ciblé. **Les moyens ISR spatiaux**, qui exposent déjà la quasi-totalité des objectifs fixes ou peu mobiles dans la profondeur, sont appelés à être de plus en plus distribués et interconnectés avec les **systèmes ISR aéroportés**. Ces derniers connaissent de leur côté une forte évolution afin de limiter la dépendance aux plateformes aéroportées lourdes ou à des modèles de drones excessivement vulnérables. Cette évolution se traduit par la combinaison de capteurs ISR embarqués sur des plateformes de 5^{ème} génération, de drones pénétrants et de réseaux de drones stratégiques (configuration multistatique de type Divine Eagle par exemple). Toutefois, en l'état, les plateformes aéroportées dédiées restent indispensables pour la plupart des puissances, même si elles peuvent être plus légères et agiles que les E-3/E-8. Dans ce sens, l'importance cruciale de la fonction ISR aéroportée demeure, autant pour le ciblage des objectifs terrestres que pour la détection, l'engagement ou l'interception des

menaces. Quel que soit l'apport des moyens ISR spatiaux, limiter la menace posée par les systèmes de frappe air-surface ou, inversement, de défense longue portée induit en priorité la neutralisation de l'architecture ISR aéroportée.

Bien que ces capteurs aéroportés jouent un rôle essentiel dans l'identification des menaces aériennes, le rôle de la composante surface-air d'un SDAI/SIDAAM ne se dément pas, plus particulièrement pour l'engagement. Limiter sa vulnérabilité est donc essentiel. De ce point de vue, **le développement des architectures distribuées de défense collaborative est déterminant**. La *Cooperative Engagement Capability* (CEC) américaine a d'abord permis les interceptions de type *Launch-on-Remote/Engagement-on-Remote* (LoR/EoR), affranchissant la plateforme de lancement du radar. La seconde étape est de multiplier les capteurs et effecteurs contribuant à l'élaboration de ces pistes composites ou les exploitant. C'est la logique du *Naval Integrated Fires Control – Counterair* (NIFC-CA) de la Navy intégrant au CEC, l'E-2D, le missile SM-6 et le F-35. La création de ces réseaux de combat collaboratif permet à un intercepteur d'opérer au maximum de sa portée, mais aussi à des altitudes nettement plus basses que celle permise par la seule capacité organique. Leur enrichissement n'est certes pas achevé. Ces dispositifs permettront ainsi de combiner radars de veille, de contrôle de tir, de contrebatterie, données de capteurs infrarouges (IR). Ils procéderont également de **l'hybridation de ces systèmes d'alerte avec les réseaux de détection passif multistatiques** mobilisant des sources d'émissions non organiques (téléphonie, radio, etc.) dont les progrès dans les technologies de traitement de signaux hétérogènes permettent la maturation. Les capacités de ces dispositifs seront cependant conditionnées par la puissance des signaux exogènes et donc réservées à la détection aux altitudes basses et à des portées moyennes.

L'utilisation plus systématique de l'IA laisse enfin entrevoir une capacité à optimiser systématiquement les couvertures radar, pour compenser la perte d'une capacité mais également pendant la manœuvre, permettant de générer des bulles d'exclusion très rapidement et d'optimiser le SDAI très en amont.

La diffusion de cette approche aura des conséquences importantes. La fusion de ces données favorisera une détection précoce et l'engagement de la cible sur plusieurs points de son trajet. La capacité EoR permet de considérer une distribution non seulement des capteurs mais également des intercepteurs, la modernisation des systèmes moyenne portée – le 9M96 russe représentant une bonne illustration – permettant la couverture de vaste portion de territoire. De ce point de vue, **les effecteurs de SEAD lents, comme les missiles de croisière actuels sont de plus en plus exposés**, plus particulièrement face à une architecture combinant des capteurs au sol à une composante aéroportée, les détections radar et infrarouge (limitation des performances des engins furtifs). Elle implique que ces moyens de frappe, pour rester efficaces, soient utilisés en frappes de saturation. De plus, cette distribution multispectrale des capacités de détection devrait considérablement **restreindre la criticité tant du ROEM que de l'attaque électronique « classique » reposant sur les missiles antiradars et les contre-mesures électroniques**, même si ces dernières évoluent dans le sens d'une plus grande flexibilité d'exploitation du spectre.

2.2. *En parallèle, le développement de la portée, de la vitesse et de la résilience des effecteurs de SEAD*

Alors que les architectures se distribuent, **les systèmes de frappe sol-sol et air-sol hautement véloces de longue portée deviennent les effecteurs cinétiques majeurs de la SEAD** : ils offrent une capacité de pénétration supérieure, sont moins exposés à la contre-frappe et permettent la destruction des points nodaux en ciblage d'opportunité. Deux évolutions technologiques notables sont à prendre en compte :

- ➔ **Le premier point est lié à la propulsion** : les propulsions chimiques modernes (solides mais également liquides sur les turboréacteurs à double flux), les statoréacteurs, à court terme les super-statoréacteurs ou encore les systèmes combinés (propulseur chimique et corps planant, charges propulsées par un petit statoréacteur) permettent des allongements de portée très importants de systèmes de plus en plus légers et compacts ;
- ➔ Parallèlement, comme nous l'avons vu dans le cas américain, **l'évolution des systèmes de navigation et de guidage terminal** permet progressivement aux systèmes offensifs de limiter leur dépendance au *Global Navigation Satellite System* (GNSS), qui, depuis plus de vingt ans, représente le moyen d'accès le plus efficace et économique à la précision.

Les systèmes sol-sol, notamment, offrent plusieurs avantages. Si l'artillerie est, comme tout autre système d'arme, vulnérable à la frappe ou à la neutralisation de sa chaîne logistique, elle ne dépend pas de points nodaux structurels comme les bases ou les groupements aéronavals. Dispersion, durcissement et manœuvre sont autant de facteurs qui limitent la vulnérabilité et ce d'autant plus que l'augmentation des portées de tir facilite les engagements déconcentrés et les manœuvres incrémentales, un maximum de batteries ayant la capacité de toucher la cible alors que d'autres se relocalisent. Dans ce contexte, la capacité à générer une tenue de situation cohérente permet de multiplier les frappes d'opportunité contre les cibles identifiées avec une réactivité très supérieure à celle offerte par les plateformes aériennes. De plus, la question de la pénétration des défenses se pose peu : les munitions sont difficiles à intercepter (trajectoires quasi balistiques manœuvrantes pour les roquettes, résistance physique aux moyens d'interception pour les obus) et peuvent opérer systématiquement en saturation. L'augmentation des portées de ces missiles génère une vulnérabilité croissante du SIDAAM, du plus bas niveau tactique jusqu'au niveau opératif. Dans un schéma interarmées, elle permet de plus à la puissance aérienne d'allouer plus de ressources pour les missions de supériorité aérienne, de reconnaissance, de contre-SIDAAM à longue portée ou les autres missions d'interdiction.

2.3. *L'influence de ces évolutions sur le type d'intercepteurs surface-air*

À la lumière de ces évolutions, les intercepteurs très longue portée, objet de la focalisation actuelle d'une grande partie de la SEAD, ne seraient plus la question essentielle. En effet, **au sein d'une architecture multi-capteurs fusionnée, la principale problématique de la défense n'est plus de mettre hors de portée les systèmes de frappe mais d'échapper à la détection, d'être capable d'engager la munition de manière à garantir sa neutralisation –**

indépendamment de sa localisation lors du vol – ou de s’en protéger. De ce fait, l’accroissement de la portée des moyens SEAD sol-sol impose de développer des moyens d’interception capable de neutraliser les moyens longue portée, qui, du fait de leur altitude de vol (40 à 50 km en apogée pour un système quasi-balistique) peuvent être suivis très tôt par l’ensemble de l’architecture de détection. L’enjeu est donc de disposer non pas tant d’un intercepteur longue portée que d’un intercepteur capable de garder une vitesse importante sur un temps long, afin de maximiser sa capacité à engager une cible potentiellement manœuvrante à tous les niveaux d’altitude (fonction autorisée par la création des pistes composites). La fonction EoR, en distribuant la « kill chain », met l’accent sur un besoin pour des systèmes sol-air de portée plus courte, mais nettement plus rapides sur le temps long et donc plus à même d’intercepter la munition. Très clairement, la combinaison d’intercepteur à statoréacteurs longue portée et d’intercepteur hypervéloces à propergol solide de plus courte portée représente une combinaison à envisager.

Face à des menaces saturantes, l’efficacité des défenses reste actuellement problématique et le sera d’autant plus que l’association entre les systèmes de navigation inertielle évolués et les systèmes de guidage par reconnaissance de scène peuvent limiter l’exposition du vecteur aux moyens électromagnétiques ou au brouillage.

2.4. De la SEAD à la lutte contre les architectures du SDAI/SIDAAM

Dans ce contexte, **la clef de la mission offensive comme de la mission défensive réside dans la capacité à maintenir le C4ISR en fonction.**

Ce faisant, la neutralisation des architectures distribuées défensives impose d’élargir la mission SEAD à la neutralisation d’autres objectifs, plus particulièrement pour limiter la capacité EoR de l’adversaire. Dans la gamme des effecteurs de SEAD, cette lutte anti-architecture implique **une importance croissante de la lutte informatique offensive.**

Compte tenu de l’évolution de ces effecteurs de SEAD, **la survie d’un SIDAAM impose en retour de faire un effort renouvelé sur la neutralisation des capacités ISR adverses,** sous peine de s’exposer à une usure progressive de ses capacités, du niveau tactico opératif jusqu’à la grande profondeur opérative. Dans une logique de haute intensité, l’incapacité d’un État à simultanément neutraliser le C4ISR de l’adversaire pour prévenir ses frappes et mener des frappes pour affaiblir sa puissance aérienne est susceptible de générer des vulnérabilités immédiatement exploitables.

Concomitamment, la vulnérabilité des architectures actuelles de détection des défenses aériennes mais aussi, sur le plan offensif, les limitations des capacités de ciblage de SEAD conduisent mécaniquement les grandes puissances technologiques à considérer la migration de ces dispositifs vers le domaine spatial, sous la forme de constellations multiples, peuplées de centaines ou de milliers de satellites, et à développer des moyens permettant la transmission de données sécurisée à très haut débit. La Chine est actuellement très en pointe sur ce type d’initiative. Cette évolution va progressivement placer **le contrôle spatial et le « counterspace » au cœur de cette confrontation entre SDAI/SIDAAM et SEAD.** Or, bien qu’il soit tentant de postuler la neutralisation des moyens spatiaux, le nombre de satellites, la diversification croissante de ces constellations de même que les efforts développés pour

assurer leur sécurité informatique, incitent à penser qu'elle n'a rien d'évident. En d'autres termes, la capacité de ciblage adverse devenant de plus en plus résiliente, la défense devra placer d'autant plus d'emphase sur les défenses électroniques, la mobilité, le durcissement et la désagrégation fonctionnelle de ses capacités.

On notera enfin que pour les systèmes offensifs comme pour les systèmes défensifs, **l'allongement des portées favorise l'usage de la force à partir de sanctuaires** : le conflit limité par proxy, tel que pratiqué par les États-Unis ou la Russie, tire pleinement avantage de moyens qui, stationnés sur le territoire des grandes puissances ou tout simplement hors de portée, ne peuvent être engagés directement par l'adversaire. Ce point particulier rappelle la dimension politique de la frappe.

3. D'autres modèles « régionaux » de SEAD ?

3.1. *Le cas de la Turquie en Libye : la stratégie du drone low-cost*

Le soutien de la Turquie au Gouvernement d'union nationale (GUN) a été déterminant ces derniers mois pour expulser de Tripolitaine les forces de l'Armée nationale libyenne (ANL). La capacité turque de SEAD en Libye repose principalement sur une nouvelle doctrine d'emploi de drones pensée et éprouvée en Syrie en mars 2020 au cours de l'opération « Bouclier du printemps ». Au cours de cette opération, les drones sont employés par les militaires d'Ankara comme une composante aérienne équivalente aux avions de combat⁷⁷. En Libye, l'emploi de drones suit le même schéma.

3.1.1. *Les défenses aériennes de l'ANL cible de la SEAD turque*

La défense de l'ANL repose principalement sur le soutien militaire des Émirats arabes unis et de la Russie, déployé de façon incrémentale. Au début de la campagne de Tripoli, l'ANL utilise des Pantsir S-1 mis à disposition par son parrain émirati afin de sécuriser ses lignes d'approvisionnement. Lors des opérations dans le sud de Tripoli, un système de brouillage sol-air Krasukha aurait également été déployé en appui de la défense aérienne⁷⁸. **Il s'agit de capacités de défense de points, non d'une défense de zone cohérente.**

3.1.2. *Les capacités turques contribuant à la SEAD*

Depuis quelques années la Turquie développe ses propres systèmes afin de contourner les restrictions de ventes de drones imposées par les États-Unis. En mai 2019, les premiers drones turcs – des Bayraktar TB2 - sont déployés en Libye afin de soutenir le GUN contre l'offensive de l'ANL. Le TB2 est un grand drone tactique ISR armé affichant une charge utile de 55 kg incluant des micro-munitions, à guidage laser/GPS, de courte portée (8-14 km). Le système ne disposant pas de liaison SATCOM, sa portée est limitée aux 150 Km de la ligne de vue. Cependant les Turques n'en ont pas moins flexibilisé son concept d'emploi et rallongé ce rayon d'action grâce à l'installation d'antennes relais et l'utilisation de pistes improvisées. **Ces drones sont crédités de la destruction de neuf des systèmes Pantsir de l'ANL au cours d'une contre-offensive du GUN dans les environs de Tripoli en mai 2020⁷⁹.** Outre les capacités des

TB2, le succès de ces opérations reposerait cependant aussi sur les difficultés de manœuvre des systèmes par les opérateurs libyens, la guerre électronique et le renseignement préalable. Le retour d'expérience d'emploi et de manœuvre du Pantsir sur le théâtre syrien – défaut du système, formation des opérateurs – tend à confirmer cette vulnérabilité⁸⁰.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises quant aux objectifs d'emploi de ces drones. Excluons d'entrée l'hypothèse d'une volonté de brouiller l'attribution des frappes dans la mesure où Ankara a officialisé le déploiement de ces matériels. On peut supposer que **leur déploiement en Libye a été réalisé à l'aune des succès d'utilisation sur le théâtre syrien**. D'un point de vue strictement capacitaire, le drone permet à Ankara **de compenser les carences de l'Armée de l'air turque** qui a subi pour rappel des purges importantes à la suite de la tentative de coup d'Etat de 2016. Outre les contraintes d'ordre capacitaire, **les implications politique et géopolitique de la perte d'un drone sont moindres** que celles d'un avion de combat. Ce point est d'autant plus vrai que des opérateurs libyens ont été formés pour mettre en œuvre les drones TB2⁸¹.

En ce qui concerne le cas du théâtre libyen, **les capacités des drones TB2 ont été à la hauteur des objectifs**, si l'on considère qu'il s'agissait à court terme de **contester la supériorité aérienne de l'ANL et sanctuariser le contrôle du GUN en Tripolitaine et à long terme de permettre à la Turquie de s'implanter en Libye** (base aérienne d'Al-Watiyah et base navale de Misrata). Les drones turcs ont été employés pour des missions ISR et pour mener des frappes contre « *les lignes de front et d'approvisionnement et les bases de logistique* »⁸². En juillet 2019, le GUN conduit des frappes grâce à ces TB2 sur la base aérienne de Jufra, détruisant des centres de C2 et deux avions de transport Ilyushin Il-76⁸³. La montée en puissance de ces capacités est vraisemblablement la cause du redéploiement des drones fournis par les Émirats arabes unis à Al-Khadim (Libye) puis en Égypte.

Peu d'information sont disponibles concernant le nombre de drones déployés. Toutefois, une source journalistique estimait les TB2 en Libye à 86 drones⁸⁴. Plusieurs livraisons ont été répertoriées au cours de l'été 2019 pour compenser les pertes subies au cours des affrontements⁸⁵. Le nombre de TB2 abattus est difficile à établir car les deux parties prenantes au conflit se mènent une guerre de communication à ce propos. Toutefois, le site *Drone Wars* dénombrait entre mai 2019 et juin 2020, 18 drones turcs abattus ou perdus accidentellement⁸⁶. Cependant, **le maintien des livraisons de TB2 tend à confirmer l'acceptation par la Turquie/GUN de pertes élevées au cours des opérations**. Le financement de l'achat de drones par le Qatar au profit du GUN semble expliquer en partie ce choix opérationnel⁸⁷. Cette stratégie a toutefois des limites, notamment en ce qui concerne les capacités de production et de livraison. Au mois de septembre, le ministre des Affaires étrangères canadien a annoncé la suspension des exportations de technologie canadienne à usage militaire à destination de la Turquie⁸⁸. Cette annonce vise vraisemblablement les capteurs utilisés par les drones TB2.

En janvier 2020, **les capacités du GUN sont renforcées avec l'arrivée de systèmes sol-air, de guerre électronique et le déploiement de drones Anka-S – peu documenté à ce jour**. Ces Anka-S sont des drones de théâtre armés disposant d'une charge utile plus importante, de 200kg⁸⁹ et utilisant une connexion satellitaire.

La capacité SEAD turque ne repose pas uniquement sur ces drones. Ankara a par ailleurs déployé un Boeing E-7T d'alerte avancée et de contrôle, afin de détecter les drones de l'ANL, de les désigner aux systèmes anti-drones de surface et de fournir de l'ELINT sur les radars adverses. Enfin, les frégates de classe Gabya (anciennement O.H. Perry) de la marine turque disposent également de **capacités de renseignement et de capacités surface-air** en mesure d'appuyer et de couvrir les opérations SEAD. L'objectif du déploiement des frégates est double : **il permet d'étendre le rayon d'action des frappes turques/GUN sur les côtes libyennes tout en se protégeant d'éventuelles frappes de représailles.**

Certaines sources, notamment le directeur de la GE de l'armée de l'air jordanienne, estiment que le **système Koral de brouillage VHF/UHF**, analogue au Krasukha, aurait été un **autre élément central des capacités SEAD** turque par ses capacités antiradar⁹⁰. En mai 2020, notamment lors des opérations pour la prise de contrôle de la base d'Al-Watiyah, le Koral aurait rendu inopérant le système Pantsir S-1⁹¹. Si les fréquences des deux systèmes correspondent effectivement, l'assertion reste cependant à étayer dans la mesure où le Koral aurait dû se trouver en ligne de vue des radars de Pantsir ce qui implique une présence à quelques dizaines de kilomètres de la base.

3.1.3. Réactions russes et perspectives

La stratégie turque qui se caractérise par l'emploi de capacités *low-cost* doit son succès à l'effet de surprise et aux vulnérabilités des défenses de l'ANL et du parrain émirati. En effet, il semblerait que ce dernier n'ait pas réussi à mettre en place un système de défense anti-aérienne intégré et multicouche, l'absence des SA-15 et SA-17 et de moyens de guet aérien limitant la capacité des défenses face aux systèmes turcs. La neutralisation des neuf Pantsir semble le confirmer. Face à l'échec de l'ANL et des Émirats à prendre Tripoli, le soutien de la Russie, direct ou via Wagner, est devenu plus important et visible en Libye : déploiement de Mig-29 et Su-24 et d'un véritable système de défense multicouche à partir de mai 2020 (voir annexe 3).

Ainsi, dans l'éventualité de nouvelles opérations, il se pourrait que la stratégie d'emploi de drones n'ait pas l'effet escompté. Au demeurant, le succès d'emploi des drones turcs doit être nuancé, la forte attrition impactant la capacité d'engagement de la Turquie dans la durée. Il semblerait que celle-ci ait eu des difficultés à mener des opérations sur plusieurs théâtres simultanément. Le rythme des frappes de drones aurait ainsi drastiquement diminué entre février et mars 2020 en Libye. La cause serait l'opération turque « Bouclier du printemps » menée en Syrie au mois de mars. Cette pondération des efforts suggère donc des limites en termes de commandement, de capacités de renseignement et de logistique. Le soutien aérien apporté fin septembre à l'Azerbaïdjan pourrait à cet égard peser davantage encore sur les capacités turques en Libye. Enfin, une campagne SEAD fondée sur l'emploi des drones doit être limitée dans le temps et utiliser à son avantage l'effet de surprise pour être efficace. **Ainsi, la réussite des opérations SEAD turques fondées sur l'emploi de drones est conditionnée à la fois par le nombre d'opérations en cours, les capacités de défense adverses, la géographie du terrain et des capacités de régénération.**

3.2. Conclusions sur la confrontation SEAD/DA dans ces conflits régionaux

Les opérations turques en Libye tendent à démontrer que **les drones tactiques armés peuvent constituer**, non plus simplement un instrument de guerre irrégulière, mais bien **une aviation de poche contre un adversaire conventionnel**. Ces drones, mettant en œuvre de nouvelles charges utiles (micro-munitions) et couplés à des moyens de guerre électronique, apparaissent en mesure de réaliser une campagne d'appui par le renseignement et les feux et dans ce cadre des opérations SEAD **sans rechercher nécessairement la supériorité aérienne**. Leur coût de plus en plus abordable permet d'aligner ces systèmes en masse et, de ce fait, de pouvoir **absorber les inévitables pertes**. À ce titre, ils apparaissent particulièrement efficaces dans la neutralisation d'un système anti-aérien peu intégré ou dans la désorganisation d'une défense aérienne de zone limitée voire uniquement de défenses de point.

Cependant, la validité de ce modèle de frappe par drones tactiques semble demeurer **contingente** à la nature asymétrique d'un conflit et particulièrement à **l'absence d'opérations aériennes classiques**. Leur usage s'est jusqu'ici accompli selon une logique de seuil dans le cadre de guerres par procuration qui ne permettaient pas l'implication directe des forces aériennes, soit par intimidation réciproque des puissances internationales, soit par l'inefficacité ou l'insuffisance des acteurs locaux à l'employer. Que ce soit en Libye et en Syrie par les Turques ou antérieurement en Ukraine par les Russes, le drone est employé avant tout comme un multiplicateur de forces locales satellisées ou alliées à qui il peut fournir une frappe de précision « en dessous du radar » de l'attention internationale et plus prosaïquement des SDAI stratégiques qui ne peuvent divertir leurs moyens de leur mission principale d'interdiction.

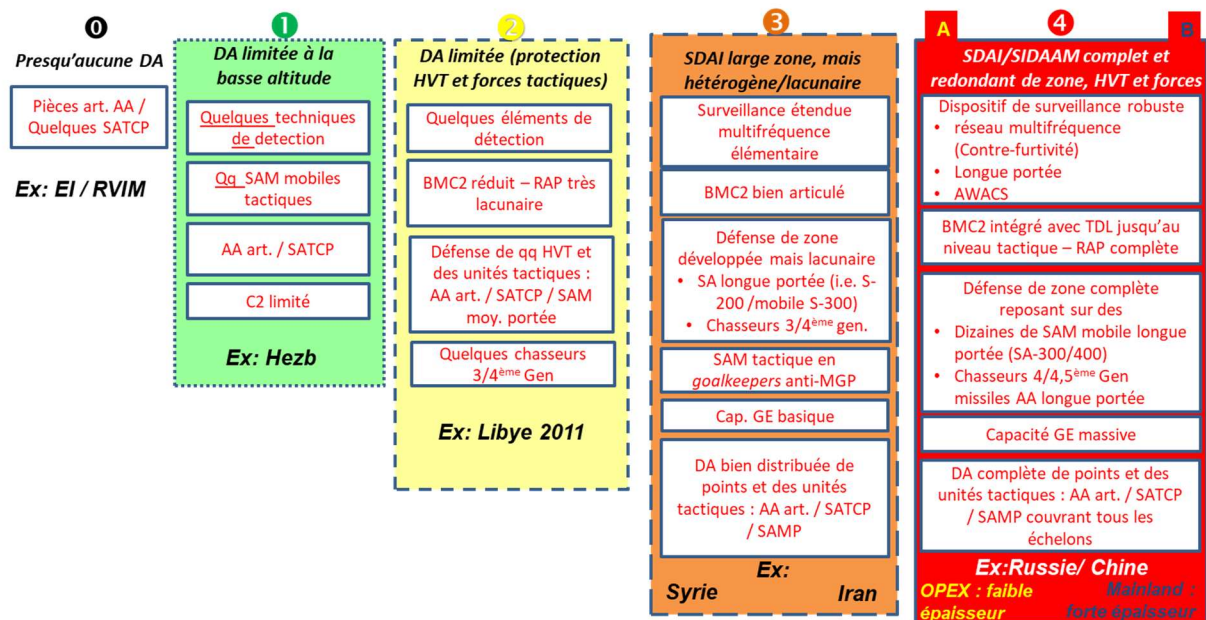
Au-delà de cet emploi des drones, dans ces conflits de milieux du spectre, la SEAD pourrait constituer un cadre d'application typique **des chaînes de ciblage rudimentaires** à la portée d'un grand nombre d'acteurs et dont le risque d'émergence a déjà été souligné dans des productions précédentes. Les drones figurent dans ce contexte parmi les capteurs de choix utilisables en complément d'autres ressources comme l'exploitation des ressources spatiales commerciales déjà évoquées, dont les données peuvent être traitées par les plateformes GEOINT et transmises par les nouvelles capacités de SATCOM commerciale au profit d'autres effecteurs de SEAD. Il en est ainsi des GRAMM de plus en plus nombreux et capables de neutraliser des systèmes AA, SACP voire SAMP adverses dans la profondeur tactique.

Partie 3 – Implications pour les armées et recommandations

1. Implications d'ordre général

1.1. La SEAD face à un dégradé de menaces surface-air

En raisonnant génériquement, les forces armées françaises font potentiellement face dans leurs différents engagements à **un dégradé de capacités de défense aérienne**, que l'on peut tenter de classer en 5 catégories, allant de l'absence de DA à un système complet, aujourd'hui un SDAI, demain un SIDAAM, en ce qui concerne les Russes et les Chinois, dans lequel qu'il convient cependant de différencier dispositifs expéditionnaires et continentaux, plus étoffés.



1.2. La problématique de la SEAD dans nos différents cadres d'engagement

La nature de la problématique de nos capacités SEAD et inversement de nos DA face à la SEAD adverse doit être précisée à l'aune **du cadre de nos engagements**.

1.2.1. Cadres d'engagement tendanciels

Les engagements en Afrique sahélienne, premier cadre « tendanciel » qu'il s'agisse de la lutte contre les djihadistes ou d'autres opérations de gestion de crise. La problématique ne se pose pas réellement.

L'autre cadre « tendanciel », à savoir **la constitution d'un dispositif de dissuasion face à la Russie en Europe dans le cadre de l'OTAN avec les Américains**, se situe bien évidemment à l'autre bout du spectre, posant les défis les plus ardues sur le plan capacitaire. Ce cadre constitue en quelque sorte le graal de la SEAD dans la mesure où la Russie aligne dans le district ouest le un SDAI le plus dense de la planète. Ces opérations défensives seraient surtout pleinement intégrées avec les opérations offensives dans un schéma cohérent d'entrave systémique de l'OTAN. Les opérations de SEAD de l'Alliance devraient nécessairement y être intégrées à une vaste entreprise de *counterair* visant sinon à désintégrer le dispositif russe, au moins en réduire significativement les capacités.

L'OTAN aurait inversement à se protéger contre des opérations de contre-SIDAAM visant ses HVT et dans sa grande profondeur, son système de défense tactique. Ces opérations reposeraient principalement sur les missiles balistiques, quasi-balistiques, de croisière et à l'avenir les projectiles véloce et hypervéloce. À cet égard, les architectures actuelles de DA peu mobiles sont condamnées à moyen terme à l'obsolescence face à une puissance de feu de précision, de portée et de résilience accrue (obus...), ce à tous les échelons de profondeur du théâtre.

1.2.2. Autres risques d'intervention

Ce sont notamment **les risques de nouveaux engagements sur le pourtour méditerranéen et au Proche-Orient (PO)**. Ces derniers peuvent revêtir des formes diverses, la plupart du temps en coalition, incluant :

- ➔ Des opérations de prévention ou de protection sous mandat onusien, par exemple blocus, *No-Fly Zone* (NFZ), etc. ;
- ➔ Des opérations ponctuelles et limitées de diplomatie coercitive ;
- ➔ Des opérations voire des campagnes de coercition plus massives et longues reposant sur la projection de puissance ;
- ➔ Des campagnes de coercition multi-milieu complètes.

L'environnement se caractérise par une densité beaucoup plus grande de combattants et d'équipements et une plus grande variété d'acteurs militaires. Les adversaires peuvent comprendre des entités non-étatiques, des États locaux, des puissances régionales, des contingents d'États parrains (iranien, russe, peut-être à l'avenir chinois). Inversement, la rétraction structurelle de l'interventionnisme américain dans la zone, impose de penser **le cas de coalitions avec un faible nombre de partenaires sans les États-Unis**.

Dans ce contexte, nos forces feraient face à **des SDAI locaux de niveau 2 à 3, éventuellement de SIDAAM de niveau 4 expéditionnaire**, constituant une véritable capacité d'interdiction de zone pour nos opérations aériennes qui resteraient à un format « échantillonnaire » en coalition limitée. En revanche, on peut supposer que bon nombre de théâtres d'opérations en zone MED/PO auraient probablement **une profondeur opérative réduite** à partir des littoraux, mettant à portée de nos capacités de SEAD une part essentielle des systèmes de défense adverses.

Cette profondeur réduite nous exposerait en revanche d'autant plus **aux capacités de SEAD adverses**. Ces dernières profiteraient bien évidemment de la dissémination des drones de combat de puissance régionale (dans la ligne de l'engagement turc) et des capacités en feux de précision, de la grande profondeur tactique (roquettes LP) à la zone de contact (GRAMM), des moyens d'artillerie offrant eux-mêmes une forte résilience face à un dispositif sol-air.

Des risques d'engagement de protection en national d'un de nos DOM-COM et/ou de la ZEE qui l'entoure. Les besoins en la matière pourraient varier grandement en fonction du type de menace et de mode d'action : allant de capacités significatives à une absence de menace de ce type en engagement de « zone grise ». Il apparaît en revanche certain, compte tenu de la géographie, que les éventuelles capacités adverses de DA seraient principalement aéronavales. Il est aussi très probable que nos capacités aéronavales et terrestres tant en SEAD qu'en DA seraient particulièrement contraintes par le format expéditionnaire.

1.3. Une typologie des opérations de SEAD

Les éléments structurants de la première partie et ces différents cadres d'engagement permettent de caractériser quatre niveaux incrémentaux d'opérations de SEAD :

- ➔ **La SEAD non létale.** Elle exercerait des effets de perturbation et serait entreprise dans les cadres d'engagement se situant en deçà du seuil du conflit armé (signalement stratégique, rétorsion sous le seuil, etc.). Elle serait surtout entreprise par la guerre électronique voire par la LIO si l'enjeu justifie le dévoilement d'un tel mode d'action ;
- ➔ **La SEAD défensive.** Elle aurait pour finalité la protection du dispositif aérien ami et serait entreprise dans des cadres d'engagement contraint, qu'il s'agisse par exemple de la mise en œuvre d'une NFZ, d'une opération de diplomatie coercitive ou encore d'une RESEVAC. Elle mettrait l'accent sur l'évitement tactique et viserait, dans une logique de proportionnalité, la neutralisation des éléments menaçants de la DA adverse et combinerait des actions de GE, de LIO et des actions cinétiques ponctuelles (frappe antiradar par exemple) ;
- ➔ **La SEAD offensive limitée.** Les cadres d'engagement seraient du même ordre que dans le cas de la SEAD défensive ou relever d'une campagne interarmées plus coercitive. Toutefois, ils nécessiteraient cette fois une véritable opération de SEAD le cas échéant multi-milieu (non seulement aérienne cinétique et non-cinétique mais aussi terrestre et navale) contre une partie des éléments de la DA adverse (système SA mais aussi C2) sans pour autant viser la désintégration de son système ;
- ➔ **La SEAD intégrée à une opération de contre-SDAI/SIDAAM.** Il s'agit du niveau le plus ambitieux de SEAD, qu'il s'agisse d'un conflit régional ou de capacités à afficher dans le cas d'un dispositif de dissuasion. Ses effets, plus destructeurs, seraient totalement intégrés avec l'ensemble des opérations de *counterair* visant la désintégration d'un SDAI/SIDAAM puis la suppression ou l'attrition de ses éléments résiduels. On parle bien entendu à ce stade d'une opération totalement multidomaine exploitant toutes les capacités disponibles (GE, LIO et frappes

cinétiques, délivrées par des feux air-surface et surface-surface) à leur plein rendement.

2. Implications et recommandations capacitaires pour les armées

2.1. *Une situation d'indéniable déficit capacitaire au regard de l'ambition de l'entrée en premier*

Cette étude rejoint un constat déjà dressé par les travaux antérieurs, notamment de l'IFRI⁹². En le reformulant, **la France ne dispose en l'état que de capacités lui permettant de réaliser des opérations de SEAD défensive ou, au mieux, de SEAD offensive limitée, dans des opérations ponctuelles, face à des DA de niveau 2, le cas échéant d'entrée de niveau 3.** Faut de disposer de capacités ISR et de combat pénétrantes, de guerre électronique offensive et d'un volume suffisant de munitions de précision, ses forces aériennes doivent s'en remettre d'autant plus à leurs systèmes de protection électronique et à leurs compétences tactiques pour exercer les effets recherchés en limitant leur exposition. Elles doivent assumer une prise de risques supérieure à celle des Américains, ce qui est d'ailleurs la marque des armées françaises en OPEX depuis 10 ans, bien au-delà de la SEAD. Si ces ressources permettent de faire face à des systèmes de DA classiques dans le cadre d'opérations ponctuelles, elles deviendront de plus en plus insuffisantes pour opérer face à des architectures distribuées aux éléments toujours plus performants en multidomaine, qui pourraient proliférer au-delà des SDAI des grandes puissances à l'horizon capacitaire considéré dans nos travaux. Cela signifie également que nos forces doivent reposer en la matière sur leurs alliées. Dans le cadre d'engagement dissuasif dans le grand Est, si l'on se place dans le schéma américain, notre composante aérienne serait logiquement sollicitée en SEAD au titre des capacités « legacy » et pour la chasse avec le couple Rafale/Meteor. Même dans le cas de coalition limitée sans les Américains, les capacités F-35 des alliés européens qui y participeraient seraient déterminantes dans les opérations de SEAD.

Inversement, nos défenses aériennes, de volume très réduit, sont clairement sous-dimensionnées pour faire face à des capacités de SEAD adverses multi-milieu, même régionales.

Même compte tenu des programmes de renforcement capacitaire en cours – concernant notamment le renseignement – ces limites **ne permettent pas d'assumer l'ambition régulièrement réaffirmée de pouvoir réaliser une entrée en premier** sur un théâtre d'opération complexe, comme le reconnaît au demeurant la revue stratégique de 2017, ce qui « implique des efforts renouvelés » selon l'institution. Cependant, en l'occurrence, ces efforts ne doivent pas uniquement porter sur les capacités SEAD aériennes mais aussi inclure celles utilisables dans les autres milieux et, inversement nos capacités de défense face à la SEAD adverse.

2.2. Implications et recommandations pour l'armée de Terre

2.2.1. Implications des développements de SEAD adverses

Les systèmes de détection et de défense SACP de nos forces terrestres sont parmi les plus exposés aux menaces émergentes émanant tant des drones que des moyens de feux dans la profondeur, déjà évoqués dans la note n°12.

Cette vulnérabilité pose tout d'abord **la question de la défense active**. Elle implique de poursuivre la montée en puissance des capacités *Counter-Unmanned Aerial System* (C-UAS) et d'aller plus avant concernant celles de contre-GRAAM, tout particulièrement la défense électronique en développant des moyens de brouillage et de HPM contre les composants électroniques de ces munitions. Il n'existe en revanche guère de réponse active aux sous-munitions non-guidées ou saturantes.

En la matière, **la défense passive** doit donc être privilégiée : la résilience par les mesures de camouflage, dissimulation et déception par leurrage électronique, par le blindage, les aménagements de terrain (merlon/gabion) des systèmes de détection fixes et des PC, enfin par la mobilité.

2.2.2. Implications en matière de capacités de SEAD de l'AdT

L'armée de Terre à l'instar de l'Army devrait jouer un rôle dans la neutralisation des éléments d'un SDAI adverse dans la profondeur tactique notamment ses moyens SAMP, dans la mesure où il est probable que les moyens de la composante aérienne en volume compté seraient largement engagés au-delà.

Première conséquence, cette contribution consolide le besoin pour une **extension significative de la portée des feux de précision** dans cette grande profondeur tactique, en l'occurrence avec des systèmes de roquettes portant à plus de 100 km. Se pose cependant en corollaire **le défi de la détection/localisation des radars SACP/SAMP** à ces distances. La réponse à ce défi suppose tout d'abord la capacité à fusionner les données ISR émanant des capteurs des autres composantes, donc l'intégration opérationnelle multidomaine selon le schéma incrémental proposé dans la note 13 sur l'interopérabilité. Ensuite, elle requiert **d'étoffer**, à coût maîtrisé, **les capacités de reconnaissance organique** de l'armée de Terre à ces distances. À cet égard, une option de mini-drones bas coût « attritable » mis en œuvre par exemple à partir de Patroller pourrait, sur le plan théorique, s'avérer tout à fait intéressante.

Le rôle de l'ALAT dans ce schéma est également à souligner. Sa doctrine de l'aérocombat dans la profondeur reste en effet tout à fait pertinente face à des dispositifs de DA de niveau 2 (défense de point) voire dans les espaces lacunaires de dispositif de niveau 3. Son action serait cependant de plus en plus contrainte par les capacités croissantes développées au titre du C-UAS et du C-RAMM adverse. Quoi qu'il en soit, elle requiert le maintien de la pratique du vol tactique mais aussi d'émuler *l'Army Aviation* en étudiant le développement de charges utiles d'attaque électronique et de munitions maraudeuses à distance SOPD, ce d'autant qu'en la matière, nos industriels « historiques » sont loin d'être en retrait. Bien entendu, le développement de ces charges utiles suppose un *trade-off* au niveau des futures plateformes,

dont certaines caractéristiques putatives (notamment la grande vitesse nécessitant de coûteuses technologies hybrides) sont probablement de moindre criticité.

2.3. Implications et recommandations pour l'armée de l'Air et de l'Espace

2.3.1. Implications des développements de SEAD adverses

Certaines des vulnérabilités des défenses occidentales face aux capacités SEAD adverses sont particulièrement applicables au cas français. Notre SIDAAM est fondé sur le SAMP/T, qui sera d'autant plus optimisé en antibalistique avec l'évolution prévue autour du couple Aster block 30 B1NT / radar Ground Fire 300. Un tel dispositif offre, en performance, une excellente couverture face à une menace aérienne limitée ou l'emploi sporadique de missiles *short-range ballistic missile* (SRBM). En revanche, il offre **une bien faible épaisseur face à une puissance de feu air-surface et surface-surface dans la grande profondeur tactique** de plus en plus conséquente, si l'on prend pour base le déploiement en OPEX d'au mieux deux des cinq escadrons soit quatre systèmes et 80 missiles pour couvrir des HVT et la manœuvre interarmes. En effet, comparativement, la puissance de feu instantanée d'un bataillon à 18 MLRS à roquettes lourdes très longue portée, comme en dispose chaque brigade d'artillerie russe, dépasse la centaine de roquettes et l'unité peut répéter son tir.

Il serait ainsi logique de développer à terme **une capacité de plus courte portée, plus rustique et moins coûteuse contre les avions et les roquettes**, qu'elle s'incarne dans une variante du SAMP/T ou dans un nouveau système.

Même dans ce cas, il est hors de question d'envisager un fort gonflement du nombre de systèmes de DA. **La résilience du dispositif** est donc un élément d'autant plus central. Sur ce plan, la mobilité du SAMP/T est un atout certain. Elle devrait être cependant complétée par des **solutions d'attaque électronique défensive** contre les munitions de précision adverses, tels que des brouilleurs de fusées de proximité à l'image des Rzut-BM russes, ou des armes électromagnétiques à l'instar du THOR et du PHASER testés par l'USAF pour la protection C-UAS de ses bases.

Le SIDAAM pâtit également de la **vulnérabilité des AWACS aux capacités adverses à longue portée** les forçant à opérer à plusieurs centaines de kilomètres de la zone de contact. Elle plaide pour le développement d'un réseau de détection aérienne et spatiale diversifié. Cette situation légitime l'étude par la DGA du « **stratobus** », le dirigeable stratosphérique développé par Thalès Alenia Space. À 20 km d'altitude, l'engin offrirait une portée de détection et de liaison *line of sight* (LOS) de 500 km rien qu'en air-surface (nonobstant les masques de relief) et de plus de 750 km pour un appareil volant à 5 km d'altitude. Cela étant, il n'est pas évident que le système soit en l'état prévu pour opérer dans le cadre d'une chaîne d'alerte précoce en OPEX dans la mesure où les missions envisagées semblent relever plutôt des postures permanentes de sûreté : « surveillance des frontières », de « sites critiques » terrestres et maritimes, contrôle environnemental, etc. Il pourrait être également opportun d'étudier un dirigeable analogue au défunt JLENS américain, dédié à la défense contre les missiles de croisière.

Ensuite, **les capacités IR spatiales et aéroportées** représentent probablement un des atouts majeurs des architectures d'alerte précoce et d'acquisition d'objectifs. Les capteurs actuels sont pleinement en mesure de détecter des plateformes ou des missiles véloce aux signatures thermiques non négligeables, ce aux portées d'engagement d'un système SAMP voire d'un SALP. Les investissements d'avenir devraient alors logiquement porter :

- ➔ Sur des **charges IR** spatiales et aéroportées ;
- ➔ Sur les **outils d'IA** permettant de traiter le signal dans une masse de données toujours plus riche (comme le font les Américains) ;
- ➔ Mais aussi sur une capacité de **fusion multiplateforme qui soit multispectrale** (combinant détection IR et pistes radar) et non plus uniquement radar.

2.3.2. *Implications en matière de capacités de SEAD de l'AAE*

Pour la composante aérienne, les DA adverses, non seulement russes mais aussi régionales (niveau 3), posent deux problèmes :

- ➔ **Un problème de *capabilities*** : le manque de capteurs pénétrants en mesure de contribuer au ciblage d'opportunité en profondeur des éléments d'un SDAI ;
- ➔ **Un problème de *capacity*** : dans le cas d'une coalition limitée, les capacités (personnels, plateformes et munitions) de combat de la composante aérienne et celles de nos partenaires, en faible nombre, devraient répartir leurs efforts entre acquisition de la supériorité aérienne, contre-SFI et contre-SDAI, face à des défenses de plus en plus étoffées.

Au niveau des capteurs, on ne reviendra pas sur l'importance évidente des programmes d'avion de renseignement à charge utile de nouvelle génération (ARCHANGE) et de sa capacité universelle de guerre électronique (CUGE), de capacité de renseignement électromagnétique spatiale (CERES) et de composante spatiale optique (CSO) déjà en phase d'acquisition qui fourniront à l'EMAAE et à la DRM un surplus de renseignements nécessaires à l'analyse des DA d'intérêt en phase d'anticipation. Ces systèmes assureront un saut capacitaire évident en termes de reconnaissance. Toutefois, parce qu'ils sont peu nombreux, ils n'offriront sans doute pas la capacité de surveillance nécessaire pour combler le gap en matière de ciblage d'opportunité et ils restent vulnérables aux actions de *counterspace* adverses (par exemple, aveuglement par laser des CSO). En complément de ces capacités souveraines, la SEAD tirerait grandement partie de **l'exploitation des constellations en orbite basse** tels Skysat ou Blacksky Global non seulement comme contributrice à la préparation renseignement mais aussi à l'appui en conduite, pour le ciblage d'opportunité, dans la mesure où ces microsattellites permettent des taux de revisite de quelques dizaines de minutes.

Ensuite, **une capacité, principalement ELINT, sur des drones de théâtre** opérant à distance de sécurité serait aussi intéressante dans la mesure où les drones amènent la permanence de la surveillance, critique pour générer des perceptions électroniques exploitables par les analystes de renseignement. Importante en veille stratégique, elle offrirait aussi une première réponse à la question du ciblage d'opportunité. Une autre partie de la solution réside dans l'exploitation de toutes les sources possibles d'imagerie commerciale en orbite basse et

moyenne. Dans cette configuration, face à des SDAI de niveau 3, le stratobus pourrait faire aussi parfaitement sens.

Une autre partie de la solution réside dans l'intégration des capacités ISR/effecteurs. En termes d'effet, précisément, le triptyque américain, « **vélocité / saturation / paralysie** », serait probablement indiqué.

En ce qui concerne la vélocité, elle doit tout d'abord se concrétiser sur les moyennes portées avec une arme supersonique équivalente à l'AARGM/SiAW américain en mesure de frapper les radars des SAMP voire les SALP. Elle est d'autant plus critique, qu'en l'absence de plateforme pénétrante jusqu'à l'arrivée du *Next Generation Weapon System* (NGWS) du SCAF, nos Rafale devront pouvoir atteindre des objectifs relocalisables à des portées plus importantes encore que dans le cas américain. L'armement devrait rester d'un coût abordable pour pouvoir être acquis en nombre suffisant. À cet égard, **un missile air-surface incluant les technologies de statoréacteur du missile Meteor** pourrait peut-être faire sens.

Elle passe aussi à **plus long terme par l'hypersonique** contre les radars d'alerte précoce et d'acquisition de cible des SALP. L'une des options réside dans **la poursuite du développement du V-max** dont on sait pour l'instant peu de choses. On peut cependant anticiper qu'un tel système aura les mêmes types d'avantages et de limitations que ses homologues américains. Un tel armement sera probablement très coûteux donc peu nombreux. Sans appareils lourds, les capacités de mise en œuvre seraient limitées au surface-surface. Une autre option, peut-être préférable sur le plan opérationnel, réside évidemment dans le missile de croisière à statoréacteur, en l'occurrence **le programme Futur missile antinavire/Futur missile de croisière (FMAN/FMC)**. Si l'on peut espérer que la coopération se poursuive avec Londres en dépit de la situation politique, les besoins divergent cependant car les Britanniques préfèrent mettre l'accent sur la furtivité et une propulsion à turboréacteur classique.

En matière de guidage, il est logique de penser à de l'antiradar. Cela étant, les champs de bataille futurs seront caractérisés probablement par un brouillage omniprésent des GNSS ce qui limitera les possibilités de ciblage de radars lesquels seront mis en œuvre selon toute logique avec un strict contrôle des émissions et des modes d'action de « shoot and scoot ». Or, il est hors de question, là encore dans des logiques de coût – mais aussi de maîtrise des dommages collatéraux – d'envisager des modes d'action de tir préemptif comme le pratiquent les Américains. L'importance de l'antiradar ira de plus en déclinant face à des systèmes à détection multistatique. Le système de guidage devrait donc être modulaire et inclure un guidage optronique par ATA, servi par des techniques d'IA de plus en plus matures.

La saturation par dispositif semi-autonome est un impératif compte tenu du manque d'épaisseur de notre composante, que le NGWS ne va probablement pas contribuer à corriger. Les drones et munitions maraudeuses font au demeurant putativement partie du SCAF et les *Network-Enabled Weapons* sont l'une des capacités du programme Connect@Aéro. Il convient ainsi de considérer, le cas échéant en complémentarité, les deux modèles que sont :

- ➔ **Le modèle « Walkyrie »**, celui d'un système de petit drone de théâtre peu coûteux, d'un design discret, pouvant être utilisé en *Loyal Wingman* d'un Rafale ou d'un NGWS ou en opérations indépendantes, doté d'une charge utile ISR/offensive cinétique/GE limitée. Ce drone aurait l'énorme avantage d'être aussi utilisable

dans les engagements subsahéliens en substitution de nos Rafale, dont le potentiel serait ainsi préservé ;

- ➔ **Le modèle de mini-drones** mis en œuvre depuis une plateforme habitée opérant soit en essaim en *stand-in* soit en *Loyal Wingman* d'un chasseur. Ces engins seraient utilisés comme capteurs, comme leurres et comme antennes distribuées à des fins de brouillage et d'intrusion électronique.

Il conviendrait par ailleurs d'étudier l'emport d'une nouvelle version des missiles de croisière embarquant une liaison de données et une **charge électromagnétique antiradar**. La logique s'inspire du CHAMP/HIJENK américain mais le concept serait un peu différent dans la mesure où il s'agirait d'armes à *Front Door Coupling*. En effet, on peut penser que la technologie progresse et devient mature pour réaliser ce type d'effets. Or, si elle permet de pouvoir traiter plusieurs objectifs par missile à l'instar de ce que les Américains revendiquent, elle ouvre la voie à un concept d'arme maraudeuse de SEAD une fois le réseau de détection distribué adverse dégradé par les autres armes à haute vitesse et saturantes.

Une telle architecture souligne bien entendu le besoin déjà régulièrement manifesté **d'une connectivité beaucoup plus performante que la L16 actuelle**, en l'occurrence des liaisons de données tactique **plus résilientes**, à basse probabilité de détection et d'interception, surtout **plus flexibles**, en mesure de constituer des réseaux mobile ad hoc, **et affichant un temps de latence réduit** permettant notamment de mieux guider les munitions.

Enfin en termes d'entraînement des personnels, la dissolution en 2014 de l'Escadron de Guerre Électronique chargé de la simulation des menaces sol-air au sein du Polygone de guerre électronique, laisse l'armée de l'Air sans unité dédiée à la formation pour mener la guerre électronique. **L'exemple américain du Growler Weapons and Tactics Programs (GWTP)⁹³** mériterait cependant de constituer une capacité spécifique de formation.

2.4. Implications et recommandations pour la Marine

2.4.1. Implications des développements de SEAD adverses

Dans le domaine naval, la problématique SEAD est d'une importance cardinale compte tenu du rôle joué par les navires de DA non seulement pour la protection aérienne du groupe naval mais aussi pour sécuriser les approches aériennes littorales par exemple, sans même parler du rôle stratégique joué par les bâtiments Aegis dans la défense antimissile américaine et des alliés.

En première approche, compte tenu de l'intégration plateforme, **les questions de SEAD semblent fongibles dans celle de la lutte antinavire**. Cette dernière connaît une notable transformation sous l'effet de l'explosion des capacités des missiles antinavires, en l'occurrence par l'accroissement de leur vitesse (version supersonique terminale du Kalibr, Zirkon hypersonique), de leur portée (qui tangenteront bientôt les 1000 km avec le YJ-100) ou encore des performances de leur guidage (IA du *Long-Range Antiship Missile System*). La plateforme individuelle avec ses limites en matière de portée de veille et d'engagement apparaît donc, sinon condamnée, du moins très vulnérable en combat de haute intensité.

Cela étant, ce n'est déjà plus la situation des bâtiments de combat de l'US Navy, dont on a vu qu'elle était à l'avant-scène du combat collaboratif aéronaval avec CEC puis NIFC-CA. Notre compréhension est que la Marine poursuit la même logique avec la **démarche veille coopérative navale / veille coopérative aéromaritime / combat collaboratif naval**, ce qui semble entièrement approprié d'un point de vue externe. À cet égard, la résilience mais aussi l'extension de couverture des capacités en matière de SIDAAM, via la dispersion des groupes de combat (*Distributed Maritime Operations*) pourrait être considérée. Cependant, l'effet d'échelle joue ici à plein : avec 1 PA, 3 BPC et 15 frégates de premier rang, des déploiements de bâtiment unique au titre de la présence, il apparaît difficile de multiplier les groupes. En revanche, l'avènement probable **des drones de surface (*Unmanned Surface Vessel, USV*) dans la prochaine décennie, pourrait apporter beaucoup en matière de SIDAAM** dans le cadre du combat collaboratif naval. Ces USV, soit au sein du groupe naval soit en action indépendante, pourraient en effet jouer les rôles de leurre antiradar, de brouilleur, mais aussi de « navire arsenal » tirant leurs missiles en EoR en collaboration avec les navires habités et les aéronefs assurant l'acquisition et le suivi des objectifs.

2.4.2. Implications en matière de capacités de SEAD de la Marine

Le gros des capacités de contre-SDAI de la marine est assuré par l'aéronavale et, à ce titre d'élément de la composante aérienne, est abordé dans la section précédente. Cela étant, les capacités ne se limitent pas au groupe aérien embarqué tant s'en faut. Les considérations concernant le missile SCALP-ER valent également pour les MdCN mis en œuvre par les FREMM et SNA. En sus de ces capacités, l'expérimentation LOCUST de la Navy semble particulièrement intéressante pour notre contexte, toujours en raison de la faible masse de moyens disponibles et de notre déficit de capacités pénétrantes. Ainsi, pour les adversaires à façade maritime, **l'exploitation de la furtivité du sous-marin pour mettre à poste au plus près des essaims d'UAV** en mesure de détecter, localiser et le cas échéant attaquer des éléments de la DA apparaît particulièrement séduisante.

2.5. Implications et recommandations au niveau interarmées

2.5.1. Doctrine

Il est vivement recommandé que le CICDE développe **une publication doctrinale interarmées de SEAD/contre-SDAI**, ou à tout le moins un développement conséquent dans l'un des documents de doctrine. Au moins deux aspects sont à prendre en compte :

- ➔ Dans la mesure où l'armée de Terre pourra étendre la portée de ces effets, la SEAD fournit une justification archétypale pour réfléchir à **la réorganisation des responsabilités des composantes** dans la grande profondeur tactique voire opérative. En la matière, les solutions que trouveront les Américains seront intéressante à suivre non seulement comme source d'inspiration mais aussi parce qu'elles pourraient s'imposer via l'OTAN ;
- ➔ Une évolution des doctrines d'intégration air-surface et du commandement des engagements opérationnels, fixant les relations de C2, pourrait s'avérer alors intéressante. Compte tenu des exigences de réactivité associées au ciblage

d'opportunité et de la contestation de l'environnement, la SEAD représente en effet une des missions pour laquelle **une gestion dynamique d'affectation des autorités de C2 tactique** en fonction des circonstances et des capacités des parties prenantes, ferait particulièrement sens, soit par délégation au sein de la composante soit par transfert vers une autre composante (par exemple, le transfert de certaines autorités de C2 d'une unité de lance-roquettes de l'armée de Terre au JFAC).

2.5.2. *Éléments de stratégie capacitaire*

La SEAD proprement dite se situe au cœur du multidomaine et devrait ainsi représenter un des domaines clés d'application de la démarche proposée dans le cadre de la note 13 sur l'interopérabilité, à savoir une **convergence des armées pour réaliser une intégration opérationnelle** à moyen terme et en parallèle, mais à finalité de plus long terme, une intégration niveau système, **une symbiose tactique** permettant une véritable SEAD collaborative entre capteurs de la DRM, des armées, effecteurs air-surface et surface-surface.

Deux éléments plus spécifiques doivent être soulignés.

Sur le plan technologique, un des « enabler » clé, commun aux trois armées et dépassant de loin la question de la SEAD, réside dans **la résilience des fonctions PNT** déjà évoquée. Elle affecte des domaines aussi variés que la navigation et le guidage des munitions en mode offensive ou encore la synchronisation des radars en DA. Le brouillage des GNSS, une des techniques les plus simples de GE, déjà récurrent en Méditerranée orientale et au PO, est à présumer à l'avenir dans tous nos engagements d'ampleur. En la matière, il est à craindre que le développement des capacités de GE aille toujours plus vite que le renforcement de ces signaux, entrepris avec de longs délais programmatiques dans le cadre de programmes lourds, comme le GPS III. La situation implique donc de faire un effort énorme, à l'instar de ce que fait la DARPA, dans la miniaturisation des équipements de positionnement, de navigation et d'horlogerie autonomes des plateformes et munitions.

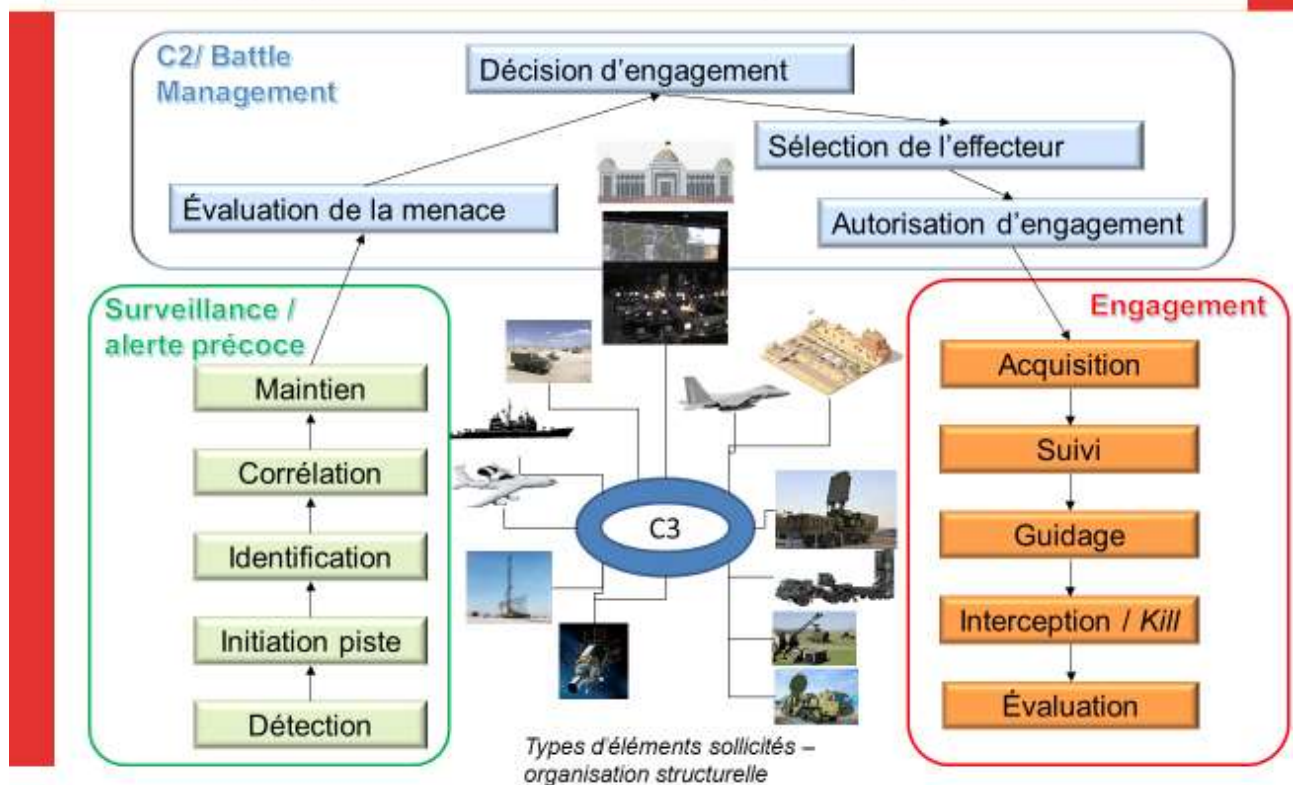
Enfin, les missions SEAD envisagées légitiment pleinement les évolutions entreprises par les armées et les directions de renseignement pour faire émerger **une véritable capacité de LIO tactique**. Cette LIO tactique pourrait par exemple se traduire par une capacité d'intrusion électronique aéroportée via les antennes de réception des radars ou des réseaux de C3 des systèmes SAM. Elle pourrait aussi trouver sa concrétisation dans des attaques plus indirectes portant sur, ou transitant via, les éléments les plus pérennes, donc les plus observables par le ROC, et les plus vulnérables des SDAI adverses comme par exemple certains systèmes de soutien. Quoi qu'il en soit, le défi majeur réside probablement dans la bonne intégration à un niveau tactique ou prime la réactivité, de cette LIO avec les actions cinétiques, de guerre électronique mais aussi d'influence, des approches aux conditions et aux délais de planification très hétérogènes. Cette nécessité de développer le volet cyber de la SEAD va probablement s'affirmer de plus en plus : la distribution croissante des architectures de détection adverse et la place importante que va y tenir un dispositif ISR spatial de plus en plus dispersé, vont considérablement accentuer l'importance relative des effets de paralysie par rapport aux autres effets tactiques classiques de la SEAD.

Annexe 1 – Complément sur les systèmes intégrés de défense aérienne et antimissile (SIDAAM)

La présente section propose une réflexion générale sur les systèmes de défense aérienne que ciblent les missions de SEAD, s’inscrivant dans le prolongement de la note n°3 de cet observatoire, dédiée à la défense sol-air nouvelle génération.

Les finalités de ces DA inclut aux niveaux stratégique, opérative et tactique, la défense de zone et la défense de points susceptibles de constituer des cibles de haute valeur (*High Value Targets*, HVT, tels que sites C2, soutien, etc.), enfin la protection de la manœuvre tactique de surface.

Schéma générique de la *kill chain* fonctionnelle d'un système intégré de défense antiaérienne



Ces DA sont constituées d'éléments assurant basiquement trois fonctions⁹⁴ :

- **La surveillance ou alerte précoce** allant de la détection d'un objet par un capteur à la fusion des informations relative à la menace, débouchant sur l'alerte ;
- **Le commandement, le contrôle** de l'opération de défense aérienne et son « **Battle Management** » au niveau tactique (C2/BM) ;

- ➔ **L'engagement proprement dit** par l'effecteur ou les effecteurs désigné(s) par le C2BM.

Le terme de **système de défense aérienne intégré (SDAI)** signifie que ces éléments opèrent comme un système de systèmes en mesure de réaliser ces différentes fonctions en une séquence cohérente, en l'occurrence une ou plusieurs *kill chain*. De surcroît, pris dans sa globalité, un SDAI est organisé en réseau plus qu'en chaîne. Le degré d'intégration varie évidemment dans le plan « vertical » de la pyramide stratégique : il va de l'intégration de la défense au niveau tactique, au niveau d'une zone ou d'une composante donnée, voire au niveau de l'ensemble des défenses antiaériennes d'un pays.

À ce niveau stratégique, **la surveillance** est non seulement assurée par les moyens d'alerte précoce (radars, moyens de détection passive, systèmes ROEM spatiaux) mais aussi potentiellement, en amont, par les capteurs ISR informant sur les activités adverses (qui peuvent inclure tous les types de sources : spatiale, humaine, cyber, etc.). Concernant l'alerte précoce, un des critères essentiels réside dans l'aptitude à voir très loin, grâce à des capteurs détectant au-delà de l'horizon, situés en surplomb (aéronefs de guet aérien et systèmes spatiaux) et/ou organisés en un dispositif de détection étendu dans la profondeur. Sans ces éléments, les délais de réaction face à une menace aérienne ou missile pénétrant à basse altitude sont extrêmement réduits. Les allonges de plusieurs centaines de kilomètres affichées par certains effecteurs comme les systèmes sol-air longue portée ne sont exploitables que dans ces conditions. Les architectures radars distribuées, actuellement en cours de développement, permettent également d'offrir une certaine profondeur, notamment contre les missiles de croisière. Le concept de cluster de radars permet quant à lui d'optimiser la ressource radar afin de garantir une meilleure surveillance mais aussi une capacité d'engagement renforcée.

Les effecteurs incluent évidemment les systèmes d'artillerie antiaérienne (AA) au niveau tactique, les systèmes de missiles surface-air (SAM) de différentes portées mais aussi les capacités de guerre électronique (brouillage et armes à énergie dirigée). Un des paramètres majeurs façonnant les capacités de ces effecteurs réside dans la couverture permise par les différents systèmes et dans leurs complémentarités. Les Soviétiques puis les Russes privilégient des dispositifs multicouches reposant sur la complémentarité entre bon nombre de systèmes de types différents à l'inverse des Occidentaux, qui mettent en œuvre généralement des systèmes plus polyvalents. La défense CP inclut aussi désormais les capacités de lutte contre les drones (C-UAS). Au niveau du SDAI, les effecteurs incluent également la chasse. Un des facteurs d'intégration du SDAI réside au demeurant dans l'interopérabilité de ces deux composantes, chasse et surface-air, dont l'histoire montre qu'elle n'a rien d'aisée dans la mesure où ces composantes relèvent souvent d'institutions différentes.

Ce sont enfin **les capacités de C2 et de communications** attenantes qui assurent dans la pratique l'intégration du SDAI. Dans ce domaine, un critère d'importance réside dans l'organisation fonctionnelle du système, laquelle peut varier selon les situations :

- ➔ En amont de la *kill chain*, la constitution de la *Recognized Air Picture*, la situation aérienne de référence, peut le cas échéant reposer sur l'intégration de *Local pictures*, régionales au niveau de PC de zone et leurs équivalents embarqués ;

- ➔ En aval, après la décision d'engagement, dans le *battle management* de niveau tactique. La notion même de SDAI implique l'existence d'un unique commandement de la défense aérienne et une seule autorité de gestion de l'espace aérien. Cependant, la gestion des engagements tactiques peut être plus ou moins décentralisée, notamment ceux des systèmes sol-air courte portée, surtout si ces derniers appuient des forces déployées, et de la chasse. C'est typiquement l'opposition entre les principes de *Ground-Controlled Interception* de l'ère soviétique et « d'exécution décentralisée » des Occidentaux.

De multiples autres paramètres existent pour caractériser ce C2BM : les délais de réaction, la doctrine en matière de gestion du statut des effecteurs, etc.

Dans une approche capacitaire cohérente, ce SDAI doit être appréhendé non seulement sous l'angle des unités et armements déployés mais aussi de la doctrine et des procédures articulant l'emploi de ces moyens, de la formation et de l'entraînement de ses personnels, des capacités de soutien, de maintien en condition opérationnelle et des infrastructures d'accueil.

Un système de lutte contre les missiles balistiques de portée moyenne ou longue, forcément intégré, repose sur les mêmes fonctions mais se distingue par une couverture, des vitesses d'évolution de la menace et des intercepteurs et des délais de *battle management* et donc des technologies et des procédés plus spécifiques. Cela étant, c'est moins vrai concernant les missiles balistiques de courte portée, les missiles de croisière, roquettes et obus d'artillerie, (GRAMM) : s'en prémunir suppose de multiples capacités communes avec la défense aérienne classique et l'exigence de sécurité des opérations impose d'intégrer les deux systèmes. **Progressivement, la distinction entre la défense antimissiles balistiques et la défense aérienne tend donc à disparaître, du moins du côté occidental.** L'ère est donc logiquement au développement d'*Integrated Air and Missile Defense System* (IAMDS) ou **système intégré de défense aérienne et antimissile (SIDAAM).**

Annexe 2 – Rappel : les principaux systèmes de contre-mesures électroniques des forces russes



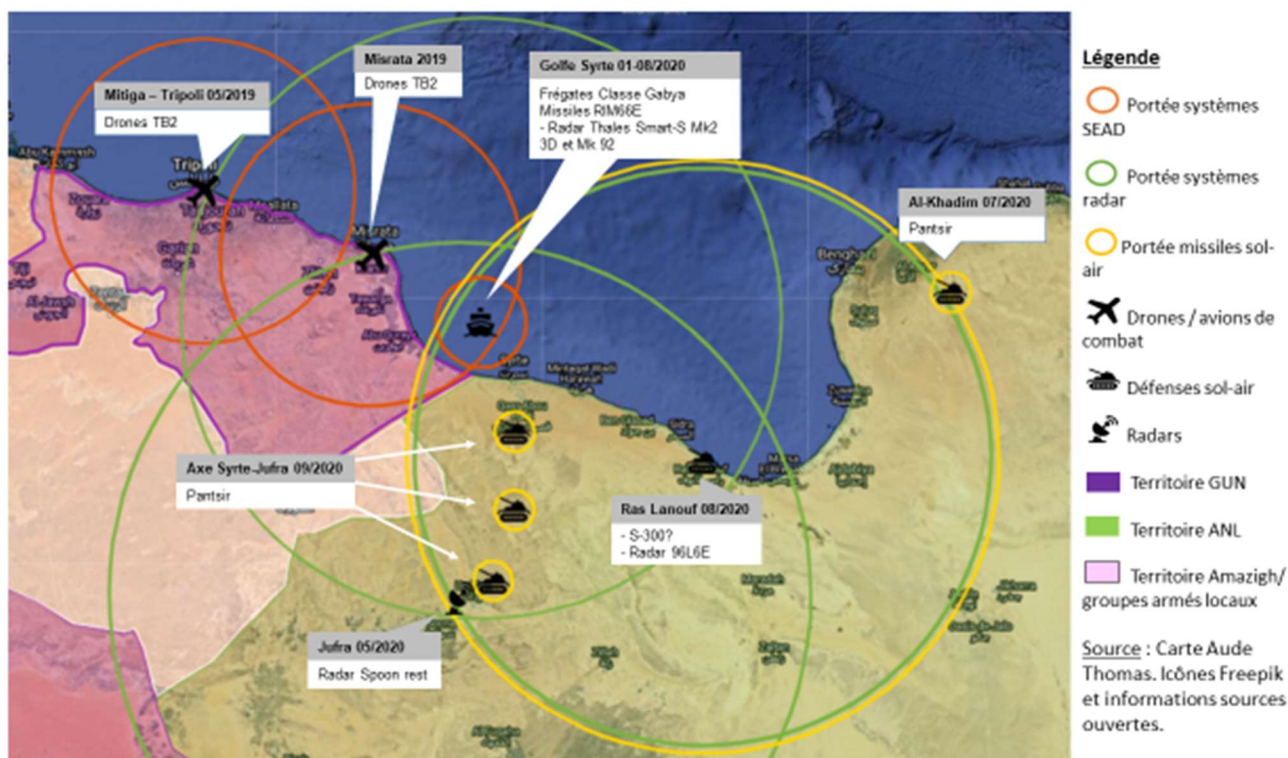
Philippe Gros, « Les opérations en environnement électromagnétique dégradé », FRS, Observatoire des conflits futurs, mai 2018, p.30

Annexe 3 – Le renforcement du système de DA russe en Libye

Les capacités russes déployées à l'été 2020 en Libye comprennent entre autres :

- ➔ de nouveaux moyens de détection : radar de surveillance longue portée Spoon rest (P-18)⁹⁵ et radar d'alerte précoce 96L6E Cheese Board⁹⁶ mais le déploiement de ce système – peu logique car très sophistiqué et rare, est normalement couplé avec un S-400 – n'est pas confirmé ;
- ➔ de nouveaux effecteurs : systèmes SALP S-300 d'un type indéterminé (associé au Cheese Board), SAMP Buk ME2 (SA-17)⁹⁷, et SACP Tor M-1 ou M-2 (SA-15)⁹⁸ et système de brouillage VHF/UHF biélorusse Groza-6 fourni par les EAU⁹⁹.

Ces systèmes sont déployés le long de l'axe Syrte-Jufra – zone de démarcation entre le GUN et l'ANL, à Ras Lanouf et sur les bases de Ghardabiya, Jufra, Al-Khadim et depuis peu sur la base de Brak. La finalité de ce déploiement reste cependant incertaine : s'agit-il de défendre les éléments clés, type APOD ou SPOD ? d'une opération de « signalement stratégique » ? d'éléments précurseurs ou garantissant de potentielles manœuvres ultérieures de l'ANL ? Quoiqu'il en soit, les Russes ont recréé un dispositif multicouche, moins puissant que celui déployé de façon pérenne en Syrie, mais suffisant pour garantir une défense de zone partielle de la Cyrénaïque contre des attaques limitées et leurs zones d'intérêt.



Capacités SEAD turques et défenses russo-émiraties en date du 16 septembre 2020. Aude Thomas, sources diverses.

Références

- ¹ Voir de façon générale, Thomas Withington, *Wild Weasel Fighter Attacks : The Story of the Suppression of the Enemy Air Defences*, Pen & Sword Books, 2008 & James R Brungess, *Setting the Context: Suppression of Enemy Air Defences and Joint War Fighting in an Uncertain World*, Air Power Research Institute, Air University Press, 1994, https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B_0054_BRUNGESS_SETTING_CONTEXT.pdf
- ² James R Brungess, *op cit*, pp 4-10,
- ³ chiffre déduit des travaux de Brungess par anonyme, *Suppression Of Enemy Air Defences : An Evolving Operational Concept*, Pathfinder, Air Power Development Centre Bulletin Issue 339, September 2019, p.1 <https://airpower.airforce.gov.au/APDC/media/PDF-Files/Pathfinder/PF339-Suppression-of-Enemy-Air-Defences-An-Evolving-Operational-Concept.pdf>
- ⁴ « The Yom Kippur War, October 1973 », in Chris Bishop (dir), *The Aerospace Encyclopedia of Air Warfare, Volume two : 1945 to the Present*, Aerospace Publishing Ltd, pp. 164-169
- ⁵ James R Brungess, *op cit*. pp 24-35
- ⁶ United States General Accounting Office, *Operation Desert Storm : Evaluation of the Air Campaign* GAO/NSIAD-97-134, June 1997, pp 62-62, 102, 205-206
- ⁷ Benjamin Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, Rand Corporation Cornell University Press, 2000, p.112
- ⁸ James R Brungess, *op cit*. pp 35-44
- ⁹ *Airborne Electronic Warfare: Issues for the 107th Congress*, CRS Report for Congress, February 9, 2001, p.6, <https://www.everycrsreport.com/reports/RL30841.html>
- ¹⁰ Ibidem
- ¹¹ David A. Fulghum, « Yugoslavia Successfully Attacked by Computers », *Aviation Week and Space Technology*, August 23, 1999
- ¹² Dr. Thomas Withington, « Computer Says No », *Armada International*, September 27, 2019, https://armadainternational.com/2019/09/computer-says-no/?utm_source=newsletter201003
- ¹³ Lt. Col. Kurt Kuzniczci, « Project Suter makes JEFX début », *Air Intelligence Agency*, non daté
- ¹⁴ « PE 030522IF / Network-Centric Collaborative Targeting », *PB 2020 Air Force, Research, Development, Test & Evaluation, Air Force / BA 7: Operational Systems Development, Volume 3b*, February 2019, p.381. Voir également pour plus de détail, « Cyberworld's Black Knights, Suter V Project Emerges from the Black », *Defense Update*, May 26, 2008, https://defense-update.com/20080526_suter_v.html
- ¹⁵ Les principales sont d'une part les articles de David A. Fulghum d'Aviation Week tel que « Why Syria's Air Defenses Failed to Detect Israelis ». *Aviation Week and Space Technology* October 3, 2007, et Richard B Gasparre « The Israeli 'E-tack' on Syria – Part II », *Airforce Technology*, 10 March 2008, <https://www.airforce-technology.com/features/feature1669/>
- ¹⁶ Corentin Brustlein, Etienne de Durand, Elie Tennebaum, *Le développement des défenses sol-air et des contre-stratégies aériennes*, IFRI, étude réalisé au profit du CESA et de l'EMAA, 2013, pp 167-168
- ¹⁷ Lt Col S. Edward Boxx, USAF, « Observations on the Air War in Syria », *Air & Space Power Journal*, March–April 2013, p.157 https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-27_Issue-2/V-Boxx.pdf & Sean O'Connor, BA, MS (AMU), « Strategic SAM Deployment in Syria », *Air Power Australia*, Technical Report APA-TR-2010-0103, January 2010, Updated April, 2012, <http://www.ausairpower.net/APA-Syria-SAM-Deployment.html>
- ¹⁸ « Russia and Syria create joint air defense system », TASS, 25 Aug 2017, <https://tass.com/defense/962057>
- ¹⁹ Judah Ari Gross, « Israeli Air Force scaling back its strikes in Syria as southern border heats up », 13 August 2020, <https://www.timesofisrael.com/israeli-air-force-scaling-back-its-strikes-in-syria-as-northern-border-heats-up/>
- ²⁰ Will Christou, « How does Israel keep getting past Syria's air defenses? », *Syria Direct*, May 07, 2020, <https://syriadirect.org/news/how-does-israel-keep-getting-past-syria%E2%80%99s-air-defenses/>
- ²¹ Yossi Melman, « Why Syria isn't firing its S-300 missiles at Israeli jets », *Haaretz*, May 15, 2020, <https://www.haaretz.com/middle-east-news/syria/.premium-syria-s-300-missiles-israel-jets-iran-soleimani-hezbollah-1.8841093>
- ²² « Replace 'Failed' Russian S-300 in Syria with Chinese Air Defence System : Chinese Media », *DefenseWorld.Net*, February 27, 2020,

https://www.defenseworld.net/news/26423/Replace_Failed_Russian_S_300_in_Syria_with_Chinese_Air_Defence_System_Chinese_Media#.X4TyRtAzbc

²³ « Сирия: российские радары не видят израильские ракеты - сбивать их удаётся благодаря Китаю », Avia.pro, 2020-04-30, <https://avia.pro/news/siriya-rossiyskie-radary-ne-vidyat-izraillskie-rakety-sbivat-ih-udayotsya-blagodarya-kitayu>

²⁴ US Joint Staff, *Joint Publication 3-01 - Countering Air and Missile Threats*, 21 April 2017

²⁵ US Joint Staff, *Joint Publication 3-01 - Countering Air and Missile Threats*, 21 April 2017, p. IV-12

²⁶ *Joint Targeting School Student Guide*, Joint Targeting School, 1 March 2017, p.105, https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/training/jts/jts_studentguide.pdf?ver=2017-12-29-171316-067

²⁷ James R Brungess, *op cit*, pp.94-110

²⁸ Note 3 de l'observatoire ; Corentin Brustlein, Etienne de Durand, Elie Tennebaum, *op cit* et plus récemment, Justin Bronk, *Modern Russian and Chinese Integrated Air Defence Systems : The Nature of the Threat, Growth Trajectory and Western Options*, Royal United Services Institute, Occasional Paper, January 2020

²⁹ Air Force Future Operating Concept, A View of the Air Force in 2035, September 2015, p.30

³⁰ Air Force Science and Technology Strategy, April 2019, pp 8-9, <https://www.af.mil/Portals/1/documents/2019%20SAF%20story%20attachments/Air%20Force%20Science%20and%20Technology%20Strategy.pdf>

³¹ Ronald Kessler, « Exclusive: U.S. Air Force has deployed 20 missiles that could zap the military electronics of North Korea or Iran with super powerful microwaves, rendering their military capabilities virtually useless with NO COLLATERAL DAMAGE », *Daily Mail*, 16 May 2019 – <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7037549/Air-Force-deployed-20-missiles-fry-military-electronics-North-Korea-Iran.html>

³² Joseph Trevithick, « Pentagon Has Tested A Suicide Drone That Gets To Its Target Area At Hypersonic Speed », *The War Zone*, June 8, 2020, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/33934/pentagon-has-tested-a-suicide-drone-that-gets-to-its-target-area-at-hypersonic-speed>

³³ Dynetics, *GREMLINS, Air Launched and Unmanned Recovery System*, Fact Sheet, 2019.

³⁴ Colin Clark, « Did We Put This Bug In SCO's Ear? MALD-X Tested For Swarm EW », *Breaking Defense*, August 23, 2018 – <https://breakingdefense.com/2018/08/did-we-put-this-bug-in-scos-ear-mald-x-tested-for-swarm-ew/> & Tyler Rogoway, « Recent MALD-X Advanced Air Launched Decoy Test Is A Much Bigger Deal Than It Sounds Like », *The War Zone*, August 24, 2018 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/23126/recent-mald-x-advanced-air-launched-decoy-test-is-a-much-bigger-deal-than-it-sounds-like> & « Next Generation Jammer Mid-Band », Raytheon – <https://www.raytheon.com/capabilities/products/ngi>

³⁵ Rachel S. Cohen, « AFRL's New Goal: Make Munitions Plan Attacks », *Air Force Magazine*, June 21, 2019 – <https://www.airforcemag.com/afrls-new-goal-make-munitions-plan-attacks/> & Joseph Trevithick, « USAF Wants To Network Its Precision Munitions Together Into A 'Golden Horde' Swarm », *The War Zone*, June 26, 2019 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/28706/usaf-wants-to-network-its-precision-munitions-together-into-a-golden-horde-swarm>

³⁶ Richard Scott and Huw Williams, « Bargain hunt: Air forces move to embrace low-cost UCAVs », *Jane's International Defence Review*, 2017 – https://www.janes.com/images/assets/318/71318/Bargain_hunt_Air_forces_move_to_embrace_low-cost_UCAVs.pdf

³⁷ Harry Lye, « Skyborg: the US Air Force's future AI fleet », *Air Force Technology*, 28 August 2019 – <https://www.airforce-technology.com/features/skyborg-the-us-air-forces-future-ai-fleet/> & Bryan Ripple, « Skyborg program seeks industry input for artificial intelligence initiative », *Air Force News*, 88th Air Base Wing Public Affairs, March 27, 2019 – <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/1796930/skyborg-program-seeks-industry-input-for-artificial-intelligence-initiative/> & Joseph Trevithick, « USAF Plans For Its "Skyborg" AI Computer Brain To Be Flying Drones In The Next Two Years », *The War Zone*, March 20, 2019 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/27067/usaf-plans-for-its-skyborg-ai-computer-brain-to-be-flying-drones-in-the-next-two-years>

³⁸ Sreve Trimble, *op cit*.

³⁹ Graham Warwick, « ONR: Swarming UAVs Could Overwhelm Defenses Cost Effectively », *Aviation Week & Space Technology*, 2015/04/23 & « PE 0603382N / Advanced Combat Systems, 3423 / LOCUST », *Department of Defense Fiscal Year (FY) 2020 Budget Estimates, Navy Justification Book Volume 2 of 5, Research, Development, Test & Evaluation, Navy Budget Activity 4*, March 2019, pp. 172-178

⁴⁰ Bybrett Tingley, « The Navy's Secretive And Revolutionary Program To Project False Fleets From Drone Swarms », *The War Zone*, November 7, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29505/the-navys-secretive-nemesis-electronic-warfare-capability-will-change-naval-combat-forever>

⁴¹ « U.S. Air Force Increases Potential Production Quantities of JASSM, LRASM Missiles », *Defense Post*, October 7, 2019 – <https://defpost.com/u-s-air-force-increases-potential-production-quantities-of-jassm-lrasm-missiles/>

⁴² Joseph Trevithick & Tyler Rogoway, « Air Force To Turn Navy Air Defense Busting Missile Into High-Speed Critical Strike Weapon », *The War Zone*, March 18, 2019 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/27022/air>

[force-to-turn-navy-air-defense-busting-missile-into-high-speed-critical-strike-weapon](#) & « Federal Contract Opportunity for Stand-in Attack Weapon (SiAW) », *GovTribe*, Updated Jan 08 2020 – <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/stand-in-attack-weapon-siaw-fa868221c00xx> & Dr. William B. Roper, Jr., Gen. James M. Holmes, USAF, Maj Gen David S. Nahom, USAF, *Department of the Air Force Acquisition and Modernization Programs in the Fiscal Year 2020 National Defense Authorization President's Budget Request*, Presentation to The House Armed Services Committee Subcommittee on Tactical Air and Land Forces United States House of Representatives, May 2, 2019 – https://armedservices.house.gov/_cache/files/0/7/07203fad-4dfa-4781-86ba-9ca054d0c11a/372A516FC8AFABB33DE2C4C8BA2D735D.hhrg-116-as25-bio-holmesj-20190502.pdf

⁴³ Joseph Trevithick & Tyler Rogoway, « Navy Orders Development Of New Air Defense Blasting Missile That Will Fit Inside F-35 », *The War Zone*, January 24, 2018 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/17947/navy-orders-development-of-new-air-defense-blasting-missile-that-will-fit-inside-f-35> & « USAF F-35as Will Get Navy's New Air Defense Busting Missile Amid Talk Of Anti-Ship Variants », *The War Zone*, May 7, 2019 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/27866/usaf-f-35as-will-get-navys-new-air-defense-busting-missile-amid-talk-of-anti-ship-variants>

⁴⁴ Steve Trimble, « The Weekly Debrief_ How B-1Bs, B-52s Become Hypersonic Missile Carriers », *Aviation Week Network*, September 21, 2020

⁴⁵ La Rand considèrerait en 2018 d'ailleurs dans un rapport consacré aux feux que l' Army « does not have, nor plan to acquire in the future, systems capable of detecting such targets at long-range from their electronic emissions (or by other means). The Army will have to rely on joint and national systems to provide these capabilities », John Gordon IV et alii, *Army Fires Capabilities for 2025 and Beyond*, Rand Corporation, 2019, p.153, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2124.html

⁴⁶ Theresa Hitchens, « Army's TITAN Ground Station To Link Multi-Domain Sensors to Shooters », *Breaking Defense*, October 16, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/10/armys-titan-ground-station-to-link-multi-domain-sensors-to-shooters/>

⁴⁷ Pour une vue d'ensemble du FVL, Philippe Gros, « Le Future Vertical Lift de l'US Army : l'aérocombat américain de prochaine génération », *Défense et industries*, n°14, juin 2020, pp. 14-24 <https://www.frstrategie.org/sites/default/files/documents/publications/defense-et-industries/2020/14-4.pdf>

⁴⁸ 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, <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/future-attack-reconnaissance-aircraft-competitive-prototype-fara-cp-dot-w911w618rfvlfaracp#>

⁴⁹ Garrett Reim, « US Army starts manned-unmanned demo for future rotorcraft », *Flight Global*, 14 March 2019, <https://www.flightglobal.com/helicopters/us-army-starts-manned-unmanned-demo-for-future-rotorcraft/131859.article>

⁵⁰ Sydney J. Freedberg Jr., « FVL: Attack Of The Drones », *Breaking Defense*, March 10, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/03/fvl-attack-of-the-drones/>

⁵¹ Sydney J. Freedberg Jr., « Killer Angel On Your Shoulder: Army's Future Armed Reconnaissance Aircraft », *Breaking Defense*. August 13, 2018, <https://breakingdefense.com/2018/08/killer-angel-on-your-shoulder-armys-future-armed-reconnaissance-aircraft/>

⁵² Voir de façon générale, Philippe Gros, Nicole Vilboux, *Les forces spatiales américaines - Modernisation et restructuration*, Observatoire de la politique de défense américaine, septembre 2019, <https://www.frstrategie.org/programmes/observatoire-de-la-defense-americaine/forces-spatiales-americaines-modernisation-restructuration-2020>

⁵³ Col Ryan Colburn, SDA Overview, présentation, mars 2020, https://gsaw.org/wp-content/uploads/2020/03/2020s13_colburn.pdf

⁵⁴ United States Government Accountability Office, *Defense Acquisitions: Action Is Needed to Provide Clarity and Mitigate Risks of the Air Force's Planned Advanced Battle Management System*, GAO-20-389, April 2020, <https://www.gao.gov/assets/710/706165.pdf> ; Charles Pope, « Advanced Battle Management System field test brings Joint Force together across all domains during second onramp », Secretary of the Air Force Public Affairs, September 03, 2020, <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2336618/advanced-battle-management-system-field-test-brings-joint-force-together-across/> & Theresa Hitchens, « ABMS Demo Proves AI Chops For C2 », *Breaking Defense*, September 03, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/09/abms-demo-proves-ai-chops-for-c2/> & Scott Maucione, « Air Force using agile approach to connect systems for battle », *Federal News Network*, January 21, 2020, <https://federalnewsnetwork.com/air-force/2020/01/air-force-using-agile-approach-to-connect-systems-for-battle/> & « PE 0604003F / Advanced Battle Management System (ABMS) », *Department of Defense, Fiscal Year (FY) 2021 Budget Estimates, Air Force, Justification Book Volume 2 of 3, Research, Development, Test & Evaluation, Air Force, Vol-II* February 2020, pp 93-100

⁵⁵ MBDA, « MBDA Working on New Spear-Ew Electronic Warfare Weapon », 11/09/2019, <https://www.mbdasystems.com/press-releases/17630/> & Tyler Rogoway, « SPEAR Mini-Cruise Missile Getting An Electronic

Warfare Variant To Swarm With Is A Huge Deal », *The War Zone*, September 12, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29789/spear-mini-cruise-missile-getting-an-electronic-warfare-variant-to-swarm-with-is-a-huge-deal>

⁵⁶ Joseph Trevithick, « RAF Tests Swarm Loaded With BriteCloud Electronic Warfare Decoys To Overwhelm Air Defenses », *The War Zone*, October 8, 2020

⁵⁷ Steve Trimble, Guy Norris, Tony Osborne, « Hypersonic Treshold », *Aviation Week and Space Technology*, April 6-19 2020, p.14, https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-04/AWST_200406S.pdf

⁵⁸ David Donald, « Project Mosquito: UK's 'Loyal Wingman' Program Moves Ahead », *AINOnline*, July 17, 2020, <https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2020-07-17/project-mosquito-uks-loyal-wingman-program-moves-ahead>

⁵⁹ Lieutenant Colonel Thomas R. McCabe, « The Russian Perception of the NATO Aerospace Threat : Could it lead to Preemption ? », *Air & Space Journal*, automne 2016.

⁶⁰ A. V. Shamarin, A.N. Babkov, M.L. Avramenko, « The Role of Operational-tactical aviation in the destruction of enemy troops and weapons system, [Роль оперативно-тактической авиации при поражении объектов системы управления войсками и оружием противника] », *Forces aérospatiales, théorie et pratique*, n°1, 2017.

⁶¹ Nikolay Kravchenko, Marat Valeev, « Ставка Только На Удар- Ные Или Только На Оборонительные Действия Недопустима », *journal Frontière Aérospatiale (Воздушно-космический рубеж)*, août 2018.

⁶² Yuri Krinitsky, « La réalité objective de notre temps [Объективная Реальность Нашего Времени] », *journal Frontière Aérospatiale (Воздушно-космический рубеж)*, n°1, 22 août 2017.

⁶³ Global Security, « SS-21 SCARAB (9K79 Tochka) », consulté le 9 octobre 2020, <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/ss-21-specs.htm>

⁶⁴ Pour de plus amples développement sur la conception soviétique puis russe de la synergie interarmées, voir la note 7 de cette observatoire « Synergie multi-domaine » d'avril 2019.

⁶⁵ Actualisation des Groupes de manœuvre opérative (OMG) de l'époque soviétique. Pour plus de développement sur le sujet, se référer à la note de L'Observatoire : « Synergie Multi-Domaine ».

⁶⁶ Frans Nauta, « Logistics Implications of Maneuver Warfare », volume 3 : soviet offensive, concepts and capabilities », *DTIC*, octobre 1988.

⁶⁷ Joseph Trevithick, « Bristling With Antennas, Russia's A-100 Is likely More than Just a New Radar Plane », *The Drive*, 21 novembre 2017.

⁶⁸ Benjamin Gravisse, « L'Ilyushin Il-22PP Porubschik », *Red Samovar*, 4 novembre 2017.

⁶⁹ FMSO, « Russia's « Penitsillin », artillery reconnaissance system », *OE Watch*, janvier 2019.

⁷⁰ Ces deux derniers systèmes, introduits en 2015, sont conçus dans une logique d'accompagnement et disposent d'une portée annoncée de 6 kilomètres pour le Leer-3 sur Orlan-10 et de 50 à 200 kilomètres pour le Rychag sur Mi-8PPTPR1. La principale évolution se situe ici dans le mode opératoire des systèmes terrestres de guerre électronique qui s'apparente à une nouvelle catégorie de feu dans la profondeur capable de réaliser un « blocus électromagnétique » du C4ISR adverse. Ces moyens sont redondants tant en termes de fréquence que de portée avec des systèmes tels que le Pelena-1 d'une portée de 250 kilomètres, du Krasukha-4 d'une portée de 150 à 300 kilomètres, du Moskva-1 portant à 400 kilomètres. L'intégration de leurs effets devrait être assurée par le système RB-109 Bylina testé à la ZAPAD 2017 qui s'appuierait sur une intelligence artificielle capable de configurer l'attaque électromagnétique aux objectifs poursuivis par l'adversaire. Ces capacités devraient logiquement déboucher sur sa constitution en branche distincte au sein de l'armée russe. Voir Roger McDermott, « Russia's Advances in Electronic Warfare Capability », *Eurasia Daily Monitor*, volume 16, n°135, *Jamestown Foundation*, 2 octobre 2019 ; Air Recognition, « L187AE Jamming System : Rychag-AV », consulté le 9 octobre 2020 ; Roger N. McDermott, « Russia's Armed Forces Test and Refine Electronic Warfare Capability », *Eurasia Daily Monitor*, volume 17, n°59, *Jamestown Foundation*, 29 avril 2020 ; Roger N. McDermott, « Russia's Electronic Warfare Capabilities to 2025 report », *International Centre for Defense and Security*, Septembre 2017

⁷¹ E.A Fedosov, D. A. Antonov, « Aviation of the Russian Air Force and scientific and technological progress: combat complexes and systems yesterday, today, tomorrow [Авиация ВВС России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра] », édition *Bustard*, 2005.

⁷² Qui fut d'abord, dans sa version initiale, un missile copié à partir du Martel franco-britannique, ne possédant pas d'aile et à carburant solide.

⁷³ *Army Recognition*, « Russia's Tactical Missiles Corporation Showcasing K-59MK Anti-Ship Missile at Masks 2017 », 21 juillet 2017.

⁷⁴ Benjamin Gravisse, « Sukhoï Su-34, le couteau Suisse de l'armée Russe ? », *Red Samovar*, 17 février 2017.

⁷⁵ James Bosbotinis, « Fire for Effect : Russia's Growing Long Range Strike Capabilities », *Wavell Room*, 5 septembre 2018.

⁷⁶ Voir sur ces capacités chinoises : David Lay, Roy Kamphausen, Travis Tanner (dir.), *Assessing the PLA under Hu Jintao*, Army War College Press, 2014 & Jeffrey Engstrom, *Systems Confrontation and System Destruction Warfare How the Chinese People's Liberation Army Seeks to Wage Modern Warfare*, Rand, 2018 & Cliff, Roger et alii, *Shaking*

the Heavens and Splitting the Earth: Chinese Air Force Employment Concepts in the 21st Century, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, MG-915-AF, 2010 & Kevin McCauley, *System of Systems Enabling Joint Operations*, The Jamestown Foundation, 2017 & Philippe Saunders et alii, *Chairman Xi Remakes the PLA: Assessing Chinese Military Reforms*, National Defense University Press, 2019

⁷⁷ Ali Bakeer, « The fight for Syria's skies: Turkey challenges Russia with new drone doctrine », *Middle East Institute*, 26 mars 2020.

⁷⁸ « Air strikes target militiamen escaping key base in Libya », *TRT World*, 19 mai 2020.

⁷⁹ Twitter, Oded Berkowitz 20/05/2020 #Pantsir.

⁸⁰ « Some 23 Russian Pantsir Air Defense Systems Destroyed in Syria, Libya: Reports », *Defense World*, 9 juin 2020.

⁸¹ « Libya's deadly game of drones », *Arabian Aerospace*, 19 mars 2020.

⁸² « Turkey's use of UAVs in Syria, Libya 'game-changing,' UK defense secretary says », *Daily Sabah*, 15 juillet 2020.

⁸³ *Op. Cit. Daily Sabah*, 15 juillet 2020.

⁸⁴ Aykan Erdemir, Varsha Koduvayur, Philip Kowalski, « Turkish Proxy Gains in Libya are no Cure for Ankara's Growing Isolation », *The National Interest*, 26 mai 2020.

⁸⁵ *Op. Cit. United Nations Security Council*, 9 décembre 2019, p. 35.

⁸⁶ « Drone Crash Database » url ([lien](#)). Consulté le 18 septembre 2020.

⁸⁷ *Op. Cit. Gurcan, Al-Monitor*, 6 avril 2020 et « Favez Sarraj leaves Turkey with no drones », *Africa Intelligence*, 28 novembre 2019.

⁸⁸ « Statement from Minister Champagne on suspension of export permits to Turkey », *Government of Canada*, 5 octobre 2020.

⁸⁹ « Anka-S Unmanned Aerial Vehicle », *Airforce Technology* ([url](#)).

⁹⁰ « Why Russian air defense systems are vulnerable to electronic attack », *Global Defence Corps*, 13 September 2020, <https://www.globaldefencecorp.com/2020/09/13/why-russian-air-defense-systems-are-vulnerable-to-electronic-attack/> & *Op. Cit. Bakeer*, mars 2020.

⁹¹ Metin Gurcan, « Battle for Air Supremacy Heats up in Libya despite Covid-19 Outbreak », *Al-Monitor*, 6 avril 2020.

⁹² Note 3 de l'observatoire et Corentin Brustlein, Etienne de Durand, Elie Tennebaum, *op cit*

⁹³ Jamie Hunter, « The EA-18G Growler Has Its Own Topgun School for Electronic Attack instead of Dogfighting », *The Drive*, 15 octobre 2020.

⁹⁴ Nous reprenons ici la Kill Chain décrite par le Maj Peter W. Mattes, USAF, *Systems of Systems: What, Exactly, is an Integrated Air Defense System?*, The Mitchell Forum, No. 26, June 2019, <https://www.mitchellaerospacepower.org/single-post/2019/06/24/Systems-of-Systems-What-Exactly-is-an-Integrated-Air-Defense-System>

⁹⁵ « New evidence of Russian aircraft active in Libyan airspace », *U.S. Africa Command Public Affairs*, 18 juin 2020.

⁹⁶ Thomas Newdick, « New Intel Indicates Russia May Have Sent S-300 Or S-400 Surface To Air Missiles To Libya », *The Drive*, 6 août 2020.

⁹⁷ « Libya: Damascus sends Pantsir-S and Buk-M2E to LNA », *Pentapostagma*, 16 juillet 2020.

⁹⁸ Oded Berkowitz 25 juillet 2020 #TOR. Noureddine « نشر منظومة الدفاع الجوي "تور" المتطورة في قاعدة الجفرة اللبية » », *Defense Arabic*, 7 juillet 2020. [Deployment Of The Advanced "Tor-M" Air Defense System At The Libyan Al-Jufra Base].

⁹⁹ Andreas Moutozouroulias, « Doom for Turkey on two fronts: New electronic system drops UAVs in Libya », *Pentapostagma*, 17 août 2020 et « Les Emirats Arabes Unis se dotent de brouilleurs biélorusses Groza-6 », *Menadefense*, 25 juin 2020.