



La confrontation entre puissances aériennes offensives et systèmes de défense aérienne : situation présente et évolutions envisageables à moyen-long terme

Recherches & Documents

Mars 2022

Philippe Gros

Maître de recherche, Fondation pour la Recherche Stratégique

FONDATION
pour la RECHERCHE
STRATÉGIQUE

SOMMAIRE

INTRODUCTION ET RESUME	1
LES DEFENSES AERIENNES ACTUELLES : UNE MENACE CERTES CONSEQUENTE MAIS A RELATIVISER....	5
1. UN ESSAI DE TYPOLOGIE DES ANTAGONISTES ACTUELS.....	5
1.1. Fonctions et types de systèmes de défense aérienne	5
1.2. Un dégradé de puissances aériennes	8
2. CONFLITS PASSES ET RECENTS : UN AVANTAGE INDUBITABLE A LA PUISSANCE AERIENNE OFFENSIVE	9
2.1. Enseignements des conflits récents	9
2.2. Les faiblesses des SDAI actuels	12
DES EVOLUTIONS CONTRADICTOIRES SUR LE MOYEN-LONG TERME.....	15
1. UNE CONFRONTATION INCERTAINE DANS LE DOMAINE ELECTROMAGNETIQUE.....	15
2. SUR LE MOYEN TERME, UNE MODERNISATION IMPULSEE PAR LES AMERICAINS ACCROISSANT L'AVANTAGE DES PUISSANCES AERIENNES	18
2.1. L'hypervélocité, clé de la suppression des radars de veille	18
2.2. La saturation par les systèmes autonomes	19
2.3. L'intégration du combat multi-milieus aérospatial	21
3. SUR LE LONG TERME, DE NOUVELLES PERCEES POURRAIENT RETABLIR L'EQUILIBRE EN FAVEUR DE LA DA	23
3.1. Deux tendances déjà en cours : les counter-UAS / counter-RAM et la modernisation continue des radars	23
3.1.1. Des capacités de counter-UAS / counter-RAM qui vont mécaniquement affecter la frappe de saturation	23
3.1.2. L'amélioration continue des radars	24
3.2. Les distributions des architectures de détection puis de la Kill Chain engagées chez les Américains et les Chinois	25
3.3. L'évolution à plus long terme des performances des effecteurs	27
CONCLUSIONS : IMPLICATIONS POUR LE SCAF.....	29

Introduction et résumé

Nombre de documents stratégiques actuels insistent sur le danger croissant des systèmes de défense aérienne comme piliers des capacités de déni d'accès et d'interdiction de zone (A2/AD) de nos adversaires potentiels. L'idée, répétée *ad nauseam*, est la suivante : les Occidentaux, massivement engagés dans les guerres irrégulières, réduisaient les crédits de modernisation de leurs forces, tandis que leurs compétiteurs s'employaient à développer rapidement les capacités nécessaires pour contrer leur puissance aérienne, élément déterminant de leur domination militaire depuis la fin de la Guerre froide. Cette supériorité ne serait donc plus garantie à l'avenir. Les systèmes les plus emblématiques de cette menace sont évidemment les fameux S-400 russes, mais aussi les radars basse fréquence en mesure de déjouer la furtivité, fers de lance d'une défense multicouches en mesure de neutraliser une puissance aérienne au volume étioilé, aux capacités surtout tactiques, aux capteurs, aéronefs de combat et munitions insuffisamment pénétrants ou résilients. Certaines illustrations cartographiques à l'appui de la thèse accréditent l'idée de bulles de déni d'accès au périmètre de plus en plus élargi.

En première approche, le rétablissement de la puissance militaire russe, certes sélectif mais misant précisément sur ces moyens, et, plus encore, l'ampleur et la rapidité de l'émergence chinoise donnent évidemment corps à cette position. De fait, plus personne n'imagine que les Occidentaux, dans un conflit impliquant massivement ces puissances, puissent parvenir à une suprématie aérienne analogue à celle acquise lors de *Desert Storm* par exemple. Pour autant, au-delà de ce simple constat de bon sens, le discours sur l'érosion continue de la supériorité – qui reste une notion relative à la différence de la suprématie – procède d'une analyse théorique non démontrée. On objectera tout d'abord qu'englober dans une même appréciation les forces américaines et celles de leurs alliés européens pose problème. Il faut ensuite rappeler que les Russes comme les Chinois conçoivent leur aptitude de contre-intervention comme une combinaison d'actions défensives et de frappes dans la profondeur (mais aussi d'actions cyber ou de *counterspace*) et ne la font pas reposer sur une barrière surface-air supposée infranchissable. De fait, plusieurs systèmes perçus auparavant comme des pièces déterminantes de ces édifices défensifs (comme le système de courte portée Pantsir ou le S-300) semblent s'être médiocrement comportés dans les conflits récents au Proche / Moyen-Orient. Émerge ainsi, depuis quelques années, une argumentation en contrepoint relativisant les capacités réelles de ces défenses, notamment chez les Russes, telle l'étude du FOI suédois (qui pondère également celles des moyens plus offensifs)¹.

Cette note propose donc une contribution à ce débat. Elle se situe dans le prolongement des travaux de l'Observatoire des conflits futurs menés par la FRS et l'IFRI, notamment le travail

¹ Robert Dalsjö, Christofer Berglund, Michael Jonsson, *Bursting the Bubble, Russian A2/AD in the Baltic Sea Region: Capabilities, Countermeasures, and Implications*, March 2019, FOI-R--4651--SE – <https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--4651--SE>

sur la neutralisation des défenses aériennes². Comme les précédentes notes de cette série sur le *Cloud* de combat et la décentralisation du C2, elle tente d'inscrire la réflexion dans la perspective de long terme du développement et de l'emploi du SCAF, ce d'autant que la plupart des analyses sur le sujet, qu'elles manifestent une préoccupation ou relativisent la menace, s'intéressent à la balance capacitaire présente et ne se projettent que marginalement dans le futur.

Après un rappel théorique, cette note précise que la confrontation entre défense aérienne (DA) et neutralisation de ces défenses (SEAD) met aux prises en réalité des systèmes de force se situant sur un spectre capacitaire fortement hétérogène. Elle revient ensuite sur les engagements contemporains (Syrie, Libye, Haut-Karabagh, Yémen) qui confirment qu'en dépit de leurs modernisations, les systèmes de DA ne parviennent pas en général à entraver significativement l'action des puissances aériennes. De fait, ces systèmes de DA, même intégrés (SDAI), souffrent de deux faiblesses critiques : des composantes d'alerte précoce aéroportées lacunaires ; des dispositifs de veille et de C2 terrestres qui, là encore, manquent d'épaisseur et/ou s'articulent encore largement autour d'architectures dont la distribution est limitée. Or, une fois les principaux radars et/ou nœuds de C2 neutralisés, un système de défense aérienne ne peut plus opérer de façon intégrée : les systèmes de missiles surface-air (SAM), même les plus capables, combattent alors isolément, en situation d'infériorité et peuvent être neutralisés par attaque de saturation.

Pour le moyen-long terme, des évolutions technico-opérationnelles contradictoires se font jour. Ainsi, il n'est guère aisé de déterminer dans quel sens va pencher l'omniprésente confrontation dans le champ électromagnétique (se déclinant dans des domaines tels que la furtivité, les contre-mesures/contre-contre-mesures électroniques et le « *navigation warfare* »). A l'inverse, plusieurs autres évolutions apparaissent plus claires. Certaines, portées par la volonté américaine de stopper l'érosion de sa supériorité face à la Chine, vont probablement redonner une longueur d'avance à la SEAD à court-moyen terme : l'hypervélocité, permettant la foudroyance, les drones bas coût et les munitions maraudeuses, permettant la saturation et un combat collaboratif connecté amené à s'étendre au milieu extra-atmosphérique.

Cependant se dessinent en parallèle des évolutions tout aussi significatives des DA permettant potentiellement de rétablir l'équilibre sur le moyen-long terme : dès à présent, la modernisation continue des radars et la vaste entreprise d'adaptation au *Counter-Unmanned Aerial System (C-UAS)* et *Counter-Rocket Artillery and Mortars* (incluant la diffusion des armes à énergie dirigée) va mécaniquement compliquer la réalisation des effets de saturation par les drones, munitions guidées de précision et munitions maraudeuses. À terme plus éloigné, il est à prévoir une meilleure distribution « horizontale » des architectures de détection puis celle de l'ensemble des *kill chains* des SDAI, dans lesquelles les Américains, voire les Chinois, sont engagés. Enfin les plausibles avancées dans le domaine des missiles, notamment le recours à la propulsion par statoréacteur, aura pour conséquence d'étendre considérablement leur enveloppe utile.

Pour le SCAF, ces évolutions impliquent probablement de faire effort tout particulièrement sur le rayon d'action et la capacité d'emport du futur chasseur, sur des armements de haute

² Philippe Gros, Stéphane Delory, Vincent Tourret, Aude Thomas, « La neutralisation des défenses aériennes adverses (SEAD) », FRS, Observatoire des conflits futurs, octobre 2020 – <https://www.frstrategie.org/sites/default/files/documents/programmes/observatoire-des-conflits-futurs/publications/2021/01.pdf>

vélocité, évidemment sur les effecteurs déportés, opérant en « *loyal swarm* » et sur des drones gigognes en mesure d'accroître le nombre de plates-formes en mesure de délivrer ces effecteurs.

En la matière, les besoins apparaissent toutefois contradictoires entre d'une part les exigences de modularité et de bas coût pour garantir la quantité d'effecteurs déportés et de munitions nécessaires aux effets de saturation ; d'autre part la qualité de ces effecteurs permettant d'exécuter la mission en environnement contesté avec une diversité suffisante d'engins pour garantir une résilience adéquate face aux nouvelles menaces, notamment dans le spectre électromagnétique.

Ces éléments devront enfin nécessairement être intégrés au sein d'un « *cloud* » permettant la mise en œuvre de plusieurs niveaux de réseaux (C2/plateformes, effecteurs-munitions), une gestion dynamique de la décentralisation des autorités de C2 au NGF (voire à ces drones gigognes) et une distribution horizontale du contrôle de ces réseaux d'effecteurs. Ce *cloud* devra également permettre un combat collaboratif multimilieux-multichamps (M2MC) s'étendant d'une part à la lutte informatique offensive (LIO) ; d'autre part aux constellations spatiales, tout particulièrement en orbite basse, dont l'importance critique en matière d'alerte précoce, de surveillance temps réel, de poursuite et même de combat collaboratif devrait aller croissant.

Les défenses aériennes actuelles : une menace certes conséquente mais à relativiser

1. Un essai de typologie des antagonistes actuels

1.1. Fonctions et types de systèmes de défense aérienne

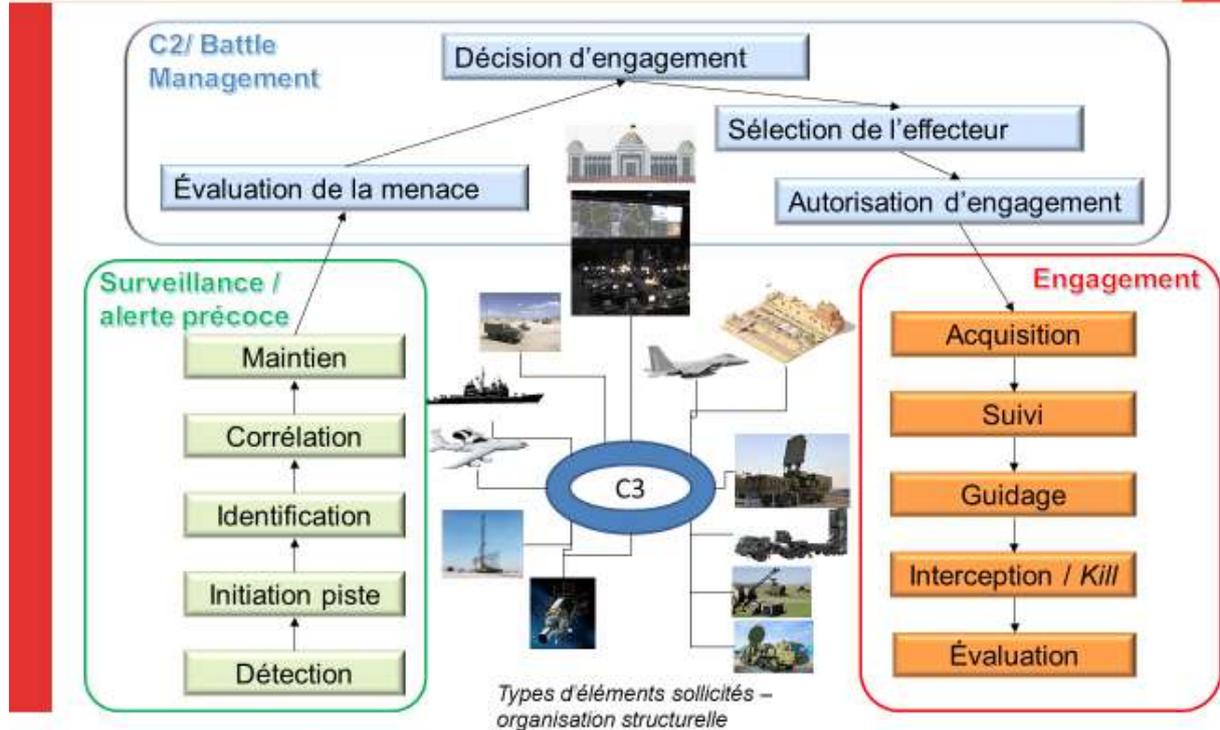
Il convient tout d'abord de rappeler les grands principes de fonctionnement d'un système de défense aérienne (DA).

Ces DA sont constituées d'éléments assurant basiquement trois fonctions³ :

- ➔ **La surveillance ou alerte précoce** allant de la détection d'un objet par un capteur à la fusion des informations par la constitution et la tenue d'une situation aérienne de référence (*Recognized Air Picture*), débouchant le cas échéant sur l'alerte. Elle est assurée par un réseau de radars de veille, une chaîne de centres de contrôle terrestres ou navals, éventuellement complétés par des appareils de guet aérien (*Airborne Early Warning – AEW*) ;
- ➔ **Le commandement, le contrôle** de l'opération de défense aérienne et son « **Battle Management** » au niveau tactique (C2/BM), qui inclut l'évaluation de la menace, la prise de décision d'engagement, l'organisation de l'acquisition par les capteurs, la sélection de l'effecteur et le contrôle de cet engagement. Ils sont assurés par la chaîne des centres de contrôle et les hautes autorités ;
- ➔ **L'engagement proprement dit** par l'effecteur ou les effecteurs désigné(s) par le C2/BM, en l'occurrence des chasseurs ou un – ou plusieurs – système(s) surface-air, qui lui-même doit acquérir et suivre la cible avec ses propres capteurs, principalement radars.

³ Nous reprenons ici la *kill chain* décrite par le Major Peter W. Mattes, USAF, « Systems of Systems: What, Exactly, is an Integrated Air Defense System? », The Mitchell Forum, n° 26, juin 2019 – <https://www.mitchellaerospace-power.org/single-post/2019/06/24/Systems-of-Systems-What-Exactly-is-an-Integrated-Air-Defense-System>

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



Source : schéma repris de Philippe Gros, Stéphane Delory, Vincent Tourret, Aude Thomas, « La neutralisation des défenses aériennes adverses (SEAD) », FRS, Observatoire des conflits futurs, octobre 2020, p. 56

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 chains*. Le degré d'intégration varie évidemment dans le plan « vertical » de la pyramide stratégique : l'intégration peut concerner uniquement la défense au niveau tactique, voire celle d'une zone ou d'une composante donnée, voire l'ensemble des défenses aériennes d'un pays. De multiples autres paramètres existent pour caractériser cette défense aérienne : l'organisation fonctionnelle du C2/BM (par exemple, l'existence de tenue de situation locale par des PC de zone), les délais de réaction, les plans d'engagement des effecteurs (par exemple, leur combinaison en fonction de la menace, la séquence de plusieurs tirs de missile sur une cible), etc.

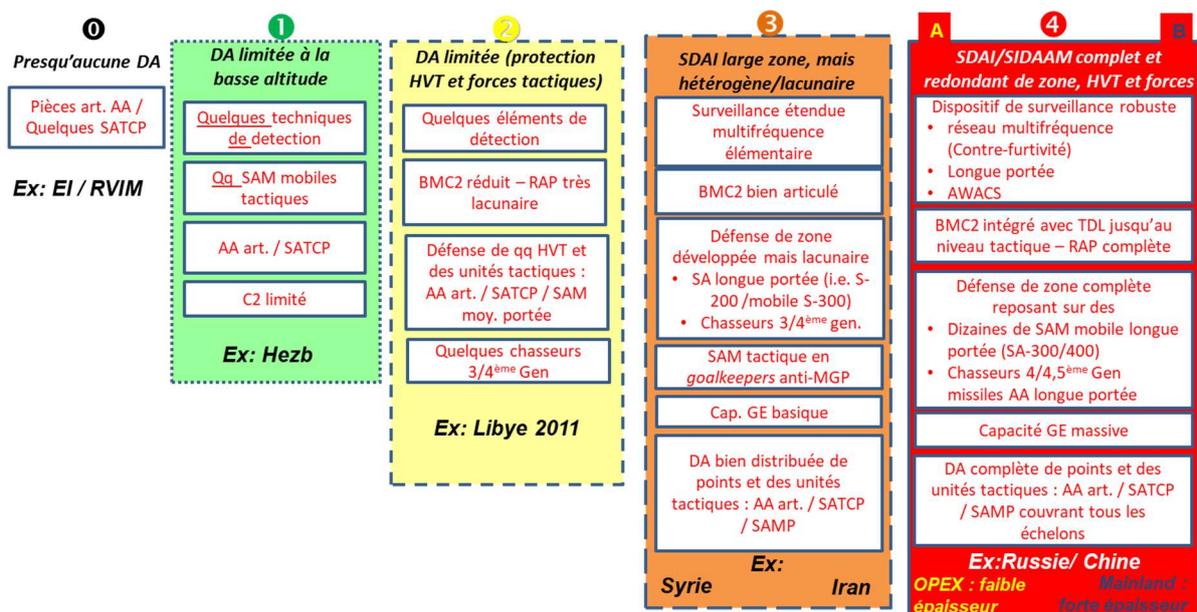
Ajoutons enfin que deux philosophies s'opposent en matière de système de DA :

- ➔ **Les SIDAAM (système de défense aérienne et antimissile) occidentaux**, qui reposent largement sur la chasse et mettent en œuvre des radars et systèmes SAM sophistiqués, polyvalents, concentrés sur la défense antiaérienne contre des menaces du haut du spectre et, plus encore, la défense antimissile. Cependant, ces systèmes sont peu nombreux, en général peu mobiles, et sont acquis au détriment d'une défense sol-air tactique devenue lacunaire, encore généralement limitée à la très basse altitude. **Ce sont en bref des SIDAAM conçus pour opérer dans un environnement de supériorité aérienne amie ;**

- ➔ **Les SDAI (car la capacité antimissile reste encore limitée) de conception soviétique puis russe, reprise par les Chinois** : un dispositif de surveillance combinant plusieurs types de radars haute et basse fréquences (comme les NEBO) pour mieux détecter les appareils furtifs, une composante de chasse plus ou moins significative, des systèmes SAM multicouches allant des systèmes longue portée (filières S-300V ou S-300 PMU/S-400/HQ-9/HQ-18) combinant eux-mêmes en réalité plusieurs types de missiles de différentes portées, des systèmes moyenne portée (S-350, Buk, etc.) et courte portée (Pantsir, Tor, etc.) – ces derniers couvrant non seulement les forces mais aussi les systèmes longue portée eux-mêmes contre les munitions guidées de précision. Ils sont massivement appuyés dans ce rôle par la guerre électronique combinant brouilleurs de grande puissance antiradar, brouilleurs GPS et fusées de proximité. Ces radars et SAM sont de plus relocalisables en quelques minutes ou dizaines de minutes. **En somme, un instrument pensé depuis des décennies pour mettre en échec la puissance aérienne occidentale, nourri des enseignements des grands succès de cette dernière comme lors de la guerre du Golfe.**

Dans le débat, la menace contraignant la supériorité aérienne occidentale désigne surtout cette seconde catégorie de systèmes alors même qu'en réalité il existe au moins autant de systèmes sol-air occidentaux que russes dans les zones de conflits et entre les mains d'États dont la stabilité n'est pas garantie.

Si l'on se concentre sur les systèmes relevant de la seconde « philosophie », seuls les Russes et les Chinois mettent en œuvre la totalité de ces capacités. Il existe donc en réalité un spectre varié de capacités de défense aérienne allant de la simple défense de site à la défense de zone complète, dont le schéma ci-dessous propose une gradation.



Source : schéma repris de Philippe Gros, Stéphane Delory, Vincent Tourret, Aude Thomas, « La neutralisation des défenses aériennes adverses (SEAD) », FRS, Observatoire des conflits futurs, octobre 2020, p. 47

Dans le développement suivant, nous nous concentrerons essentiellement sur les capacités surface-air. La confrontation air-air, certes à considérer comme un élément de ces SDAI, représente un sujet en soi qui ne peut être abordé avec le même degré de détail dans une telle note.

1.2. *Un dégradé de puissances aériennes*

Face à ce dégradé de défenses aériennes, la puissance aérienne offensive n'a rien d'un ensemble univoque et peut, elle aussi, se décliner en fonction de la nature et du volume des capacités en plusieurs catégories :

- ➔ **Les forces aériennes américaines** (USAF, USN). Elles sont encore les maîtres-étalons de la puissance aérienne, en dépit de leur réduction de format, actée surtout dans les années 1990, des déséquilibres de leurs mix capacitaires et d'une modernisation ralentie pendant une quinzaine d'années. Cette modernisation n'a pour autant jamais cessé. Elle s'est traduite par la généralisation de la frappe de précision, y compris sur les bombardiers, la mise en réseau démultipliant la flexibilité d'emploi et générant l'émergence de cycles de ciblage d'opportunité, la dronisation, la prise en compte de centaines d'appareils de cinquième génération furtifs, etc. Seule la Chine est en mesure à long terme d'émuler ce modèle ;
- ➔ **Les forces aériennes des puissances européennes**. Elles disposent de capacités de combat de qualité analogue à celles des forces tactiques américaines sur bien des points, mais sont devenues « échantillonnaires », ne disposent ni de la puissance de feu, ni du C2, ni de l'appui ISR massif ou de la fonction mobilité dont se prévaut leur allié américain ;
- ➔ **Les forces aériennes des puissances régionales émergentes**. Elles émulent le modèle occidental mais avec une dronisation accentuée, à relativement bas coût, pour la guerre irrégulière (pays arabes massivement dotés de drones tactiques et MALE chinois notamment) ;
- ➔ **Des forces aériennes hybrides** en plein développement mettant particulièrement l'accent sur cette dronisation de combat (drones MALE, tactiques, drones-munitions). Ce recours massif aux drones représente un substitut partiel à l'aviation habitée au moins pour l'action air-sol, même en conflit conventionnel (modèles israélien et turc, répliqués par l'Azerbaïdjan par exemple) ;
- ➔ Enfin, **des « substituts de puissance aérienne »**, eux-aussi en net développement. Ils **misent plus particulièrement sur les missiles** (quasi-balistiques ou de croisière) et, là encore, **les drones-munitions**, plus que sur les plates-formes. C'est particulièrement la signature des forces de « l'arc de résistance chiite » (l'Iran et ses affilés, Hezbollah, Houthis).

Comme toute typologie, cette dernière est imparfaite. Ainsi, la Russie présente un caractère hybride, mettant en œuvre des forces aériennes classiques non négligeables mais manquant d'épaisseur pour les opérations conventionnelles majeures envisagées et misant pour ce faire sur sa puissance de feu en missiles surface-surface.

2. Conflits passés et récents : un avantage indubitable à la puissance aérienne offensive

2.1. Enseignements des conflits récents

Dans les multiples confrontations entre ces appareils de force, l'avantage reste encore aux forces aériennes offensives. En fait, depuis qu'existent les SDAI, c'est-à-dire depuis la guerre du Vietnam, le seul conflit dans lequel ces systèmes sont parvenus à entraver significativement l'action de la puissance aérienne a été la guerre du Kippour en 1973 durant laquelle la DA égyptienne a maintenu pendant tout le début du conflit la parité aérienne avec l'aviation israélienne. Dans tous les conflits qui ont suivi, ces défenses ont certes constitué un défi en limitant partiellement la liberté d'action de la puissance aérienne mais n'ont jamais pu en interdire les effets (quand bien même ces effets restent discutables au niveau stratégique mais c'est un autre débat...). Inversement, les opérations de neutralisation des défenses aériennes (SEAD – *Suppression of Enemy Air Defense*) ont porté leurs fruits, exerçant le plus souvent un effet de suppression, forçant les systèmes de DA à limiter ou stopper leurs actions, plus rarement un effet de destruction de ces systèmes. Les retours d'expérience des opérations récentes ne dérogent pas à ce schéma.

Le SDAI syrien, pourtant relativement étoffé et bien soutenu par les Russes, ne parvient pas après quatre ans de « guerre entre les guerres »⁴ à interdire à la force aérienne israélienne (*Israeli Air Force* – IAF) d'entreprendre ses frappes d'usure sur le potentiel balistique amassé par le Hezbollah. À l'été 2020, l'État hébreu avait délivré 4 239 munitions sur 955 objectifs et essuyé le tir d'environ 850 SAM, principalement des Buk M-2 et des Pantsir S-1, pour la perte d'un seul F-16, ce qui aurait provoqué en retour la destruction d'un tiers des systèmes SAM et d'un cinquième des radars⁵. Les modes d'action, l'entraînement et la qualité de l'équipement de l'IAF expliquent certainement pour une large part ce résultat. Face à ces actions de SEAD offensives limitées, la relative neutralité des Russes dans cette campagne entraîne le non-engagement de leurs capacités de DA de la base de Khmeimim et pourrait expliquer également que les S-300, probablement PMU-2 livrés à Bachar El-Assad, n'aient pas été employés⁶. Certaines sources syriennes citées dans des médias chinois n'hésitent toutefois pas à souligner l'inefficacité des radars de ces derniers⁷. Toutefois, au moins depuis 2019, il semble que le SDAI syrien rende les attaques israéliennes plus coûteuses matériellement en abattant un certain nombre de munitions, forçant l'IAF à un plus grand usage des drones, notamment de leurs

⁴ C'est ainsi que les Israéliens désignent cette confrontation.

⁵ Judah Ari Gross, « Israeli Air Force scaling back its strikes in Syria as southern border heats up », *The Times of Israel*, 13 août 2020 – <https://www.timesofisrael.com/israeli-air-force-scaling-back-its-strikes-in-syria-as-northern-border-heats-up/>

⁶ Yossi Melman, « Why Syria isn't firing its S-300 missiles at Israeli jets », *Haaretz*, 15 mai 2020 – <https://www.haaretz.com/middle-east-news/syria/.premium-syria-s-300-missiles-israel-jets-iran-soleimani-hezbollah-1.8841093>

⁷ « Replace 'Failed' Russian S-300 in Syria with Chinese Air Defence System : Chinese Media », *Defense-World.Net*, 27 février 2020 – https://www.defenseworld.net/news/26423/Replace_Failed_Russian_S_300_in_Syria_with_Chinese_Air_Defence_System_Chinese_Media#.X4TyRtAzbc

munitions maraudeuses Harop en attaque de saturation⁸. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer : la modernisation de ce SDAI avec les radars chinois et des Pantsir S-2 ; son complément par des Tor M-2 iraniens (ces systèmes s'imposeraient comme les plus efficaces de l'arsenal russe courte portée), ou encore, peut-être, la montée en compétence de ses personnels.

Il n'en reste pas moins que les franges tactiques de **ce même SDAI ne sont pas non plus parvenues en février-mars 2020 à entraver la puissance aérienne turque lors de l'opération « Bouclier de Printemps »**, vaste contre-offensive pour empêcher la reprise d'Idlib par les forces syriennes. Ankara y a massivement engagé ses désormais fameux drones tactiques TB-2 Barayktar et MALE Anka en appui ISR de l'artillerie, en SEAD, en guerre électronique, en interdiction et en CAS, en synergie avec les E-7 AEW et les capacités de guerre électronique terrestres (Koral, MILKAR-3A3, etc.). Seuls 7 parmi les dizaines de drones engagés auraient été abattus par la DA syrienne. Notons qu'en revanche, les revendications turques de SEAD portant sur 8 systèmes Pantsir restent non étayées donc douteuses à l'heure de la diffusion vidéo généralisée de propagande⁹. Cela étant, il semble que, là encore, l'effet de suppression de cette DA ait joué à plein.

Une fois « Bouclier de Printemps » achevé, Ankara a **projeté sa puissance aérienne dronisée en Libye** en appui du gouvernement d'union nationale de Tripoli. Cette force y a joué le rôle déterminant que l'on sait pour stopper l'offensive de l'Armée de libération nationale (ALN) du maréchal Haftar sur la capitale et la forcer à la retraite¹⁰. Une fois encore, ces drones se sont trouvés confrontés aux Pantsir, mis en œuvre soit par l'ANL, soit directement par leur fournisseur émirati (9 à 12 systèmes) avec des pertes sensibles (une vingtaine d'aéronefs). Une explication de ces pertes serait que, faute d'artillerie sur ce théâtre, les Turcs auraient parfois engagé leurs drones en frappes d'interdiction isolées, en dehors de la portée des appuis fournis par la GE, ce qui montrerait alors les fragilités de ce modèle¹¹.

La « dernière étape » de la démonstration de puissance turque est évidemment la guerre du Haut-Karabakh en septembre-octobre 2020, un affrontement cette fois très conventionnel entre les forces mécanisées azéries et arméniennes. Le SDAI arménien, étoffé mais largement obsolète car datant de l'époque soviétique, impréparé et pris par surprise comme le reste de l'appareil de force d'Erevan¹², a essuyé une déroute totale face à cette puissance aérienne turco-azérie, largement dronisée (reposant sur les TB2/Anka, d'autres drones ISR MALE et tactiques d'origine israélienne, de vieux biplans Antonov-2 reconvertis en leurres, mais aussi sur des centaines de munitions maraudeuses également livrées par l'État hébreu).

⁸ Sebastien Roblin, « Israel Secret Kamikaze Drones are Killing Syria's Air Defenses », *The National Interest*, 19 mai 2019 – <https://nationalinterest.org/blog/buzz/israel-secret-kamikaze-drones-are-killing-syria%E2%80%99s-air-defenses-58397>

⁹ Stijn Mitzer, Joost Oliemans, « The Idlib Turkey Shoot: The Destruction and Capture of Vehicles and Equipment by Turkish and Rebel Forces », *Oryx*, 28 février 2020 – <https://www.oryxspioenkop.com/2020/02/the-idlib-turkey-shoot-destruction-and.html>

¹⁰ Voir Aude Thomas, « The Turkey-UAE race to the bottom in Libya: a prelude to escalation », *Recherches & Documents*, n° 8, juillet 2020.

¹¹ Afonin I. E., Makarenko S. I., Petrov S. V., A. A. Privalov, « Analysis of Experience in the Combat Application of Unmanned Aerial Vehicle Groups to Defeat Air Defense Systems in Military Conflicts in Syria, Libya and Nagorno-Karabakh », *Control, Communications and Security Systems*, n° 4, 2020, pp. 163-191 – <https://sccs.intelgr.com/archive/2020-04/06-Afonin.pdf>

¹² Albert L., « Former Armenian Commander Who Blasted Government Failures During War Is Now Under Investigation », *Overt Defense*, 20 novembre 2020 – <https://www.overtdefense.com/2020/11/20/former-armenian-commander-who-blasted-government-failures-during-war-is-now-under-investigation/>

Les TB2 seraient ainsi responsables de la destruction de plus de 500 cibles, soit directement, soit en appui ISR¹³. Il convient également de ne pas sous-estimer le rôle des Su-25 modifiés pour délivrer à haute altitude des MGP probablement sur désignation par les drones¹⁴. Il semble que l'essentiel de la DA tactique du Haut-Karabakh ait été détruite ou supprimée dès les premiers jours de l'engagement, par des modes d'action de SEAD classiques (stimulation par leurrage, attaques de saturation, *Manned-Unmanned Teaming*, *Ground-Assisted Air Interdiction* par forces spéciales) mais parfaitement maîtrisés. Les munitions maraudeuses auraient effectué l'essentiel des frappes dans la profondeur (dont la neutralisation des deux batteries de S-300 PS couvrant la zone)¹⁵. Seuls les TOR, les MANPADS, pendant quelques jours, les Polye-21 de guerre électronique livrés par Moscou, seraient à l'origine des faibles pertes turco-azéries¹⁶ (au moins 11 An-2, 11 drones, 15 munitions maraudeuses documentées par l'imagerie¹⁷ et peut-être plusieurs Su-25).

Le conflit qui oppose les Houthis, alliés à l'Iran, à la coalition arabe présente un autre cas de figure. Le mouvement yéménite fait pleuvoir sur les arrières logistiques de la coalition, au Yémen comme en Arabie saoudite, ensuite sur les infrastructures pétrolières saoudiennes, des centaines de roquettes lourdes, de missiles balistiques et de drones-munitions développés localement plus ou moins à partir de technologies livrées par Téhéran¹⁸ et mis en œuvre selon des schémas d'attaque combinée¹⁹. Il y fait face à un SIDAAM de technologie américaine de défense de point, *Peace Shield*, essentiellement à base de radars AN/FPS 117(V)3s, de Patriot, intégré avec les AWACS et la chasse de la *Royal Saudi Air Defense Force* (RSADF). Ce dispositif est certes moderne mais, peu mobile, il manque d'épaisseur et reste donc lacunaire. Il était de plus initialement mal positionné, face à la menace iranienne²⁰. Il parvient tout de même progressivement, là où il est déployé, à intercepter la plupart des attaques balistiques et, en dépit de coups retentissants (la fameuse attaque sur les sites Aramco d'Abqaiq et Khurais

¹³ Stijn Mitzer, Joost Oliemans, « The Conqueror of Karabakh: The Bayraktar TB2 », *Oryx*, September 27, 2021 – <https://www.oryxspioenkop.com/2021/09/the-conqueror-of-karabakh-bayraktar-tb2.html>

¹⁴ « Полковник Нудиралиев направил падающий самолет на скопление армянских солдат ВИДЕО », 25 décembre 2020 – <https://haqqin.az/news/197133?fbclid=IwAR0d6psMoxzDALawcyZis60nIOMacuEtFgygFKG5cfa9XXfu8k8sOhAcCSw>. Les marquages d'un de ces Su-25 revendiquent 44 cibles (<https://avia-pro.fr/news/odin-azerbaydzhanskiy-su-25-unichtozhil-58-celey-v-karabahe>).

¹⁵ Stijn Mitzer *et al.*, « The Fight For Nagorno-Karabakh: Documenting Losses On The Sides Of Armenia And Azerbaijan », *Oryx* – <https://www.oryxspioenkop.com/2020/09/the-fight-for-nagorno-karabakh.html?m=1>

¹⁶ Albert L., *op. cit.*

¹⁷ Stijn Mitzer *et al.*, *op. cit.*

¹⁸ Nous nous référons largement, dans cette section, à Ian Williams, Shaan Shaikh, *The Missile War in Yemen*, A Report of the CSIS Missile Defense Project, juin 2020 – https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/Williams_MissileWarYemen_WEB_FINAL_v2.pdf et à la base de données interactive des mêmes auteurs : <https://missilethreat.csis.org/missile-war-yemen/>. Voir aussi, en ce qui concerne l'arsenal des Houthis : Stijn Mitzer, Joost Oliemans, « Houthi Rebels Unveil Host of Weaponry, Compounding Drone and Missile Threat », *Oryx*, 12 mars 2021 – <https://www.oryxspioenkop.com/2021/03/houthi-rebels-unveil-host-of-weaponry.html>

¹⁹ Voir par exemple, au printemps dernier, Michael Knights, « Continued Houthi Strikes Threaten Saudi Oil and the Global Economic Recovery », The Washington Institute for Near-East Policy, 12 mars 2021 – <https://www.washingtoninstitute.org/policy-analysis/continued-houthi-strikes-threaten-saudi-oil-and-global-economic-recovery>

²⁰ « Saudi Arabia – Peace Shield », Global Security – <https://www.globalsecurity.org/military/world/gulf/sa-peace-shield.htm>

étant cependant très probablement d'origine iranienne²¹), à limiter les effets des drones-munitions par l'action omniprésente des forces aériennes (AEW et chasse). Il est vrai qu'il n'a été confronté que de façon marginale à des actions de SEAD en raison de la faible sophistication des drones-munitions adverses²². Toutefois, le coût de l'entreprise reste certainement prohibitif, se traduisant par un « avantage compétitif » certain au profit des Houthis. À titre d'exemple, Washington vient d'autoriser la vente au Royaume saoudien de 280 missiles AIM-120C AMRAAM supplémentaires (et équipements associés), pour 650 M\$, afin de regarnir les inventaires de la RSAF, qui dépense massivement ses missiles à 2-3 M\$ pièce pour abattre des drones de quelques milliers à dizaines de milliers de dollars²³.

2.2. Les faiblesses des SDAI actuels

Les spécificités (stratégiques, capacitaires) de ces différents affrontements empêchent d'en tirer des conclusions définitives, d'autant qu'ils ont impliqués des DA de niveau 2 ou 3. Le S-400 n'a encore jamais été utilisé au combat. Inversement, la puissance aérienne américaine n'a pas été utilisée à son plein rendement depuis trente ans. L'assertion d'une forte érosion de la supériorité aérienne occidentale reste donc putative, pensée dans une confrontation « chimiquement pure » avec les SDAI de niveau 4 russes et chinois. Une remarque s'impose d'emblée : cette confrontation reste un exercice de réflexion théorique que l'environnement nucléaire dans lequel elle s'inscrirait contraindrait forcément au plan politico-stratégique. Cela étant, même en évacuant ce facteur, en réfléchissant un affrontement conventionnel « débridé », l'interdiction prolongée de la puissance aérienne par ces systèmes de DA n'a rien d'évident.

De fait, de façon générale, les SDAI, qu'ils soient occidentaux ou d'inspiration russe, souffrent encore actuellement, au moins pour le moyen terme, de deux failles importantes.

La principale est la faiblesse des composantes de veille aéroportée. Seuls les Américains disposent de plusieurs dizaines d'AEW. Les Russes n'en ont que quinze. Les puissances régionales, quand elles en possèdent, n'alignent que quelques appareils. Or, ces moyens sont absolument nécessaires pour repousser l'horizon de détection effectif à basse altitude à plusieurs centaines de kilomètres (en témoigne l'exemple saoudien). **Faute de ces ressources, la veille/alerte précoce assurée par les radars de surface est physiquement limitée par la rotondité de la Terre** à une portée de quelques dizaines de kilomètres pour les pénétrations à très basse altitude. Dans le débat qui a suivi l'attaque de la base de Shayrat par les Tomahawk de l'US Navy en 2017, plusieurs experts russes, comme le colonel-général Maltsev, ancien chef

²¹ Dakshinie Ruwanthika Gunaratne (dir.), *Letter dated 27 January 2020 from the Panel of Experts on Yemen addressed to the President of the Security Council*, UNSC,S-2020-70 – <https://reliefweb.int/report/yemen/letter-dated-27-january-2020-panel-experts-yemen-addressed-president-security-council>

²² *Iranian Technology Transfers to Yemen*, Conflict Armament Research, mars 2017, p. 2 – <https://www.conflictarm.com/perspectives/iranian-technology-transfers-to-yemen/>

²³ David Hambling, « New Saudi Missile Order Reveals The High Cost Of Asymmetric Drone War », *Forbes*, 11 novembre 2021, <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/11/11/new-missile-order-reveals-true-cost-of-asymmetric-drone-war/>

d'état-major de la DA russe, ont confirmé que, dans une situation similaire, les S-400 ne pourraient prendre à partie les Tomahawk qu'à moins de 40 km²⁴. Certes, un travail sur la modélisation des *kill chains* du S-400 et du Pantsir (estimés respectivement de 51 à 154 secondes et de 47 à 98 secondes) a montré que l'interception d'un missile de croisière à ces distances reste faisable mais à condition que la cible demeure dégagée pour son acquisition²⁵. Maltsev ajoute que la protection d'un tel site aurait exigé un fort dispositif de veille organisé dans la profondeur, et, au titre des effecteurs, pas moins de quatre bataillons de S-400 et un régiment de Sukhoi. Bien entendu, la posture de déploiement de ces radars vise à compenser cette limite mais elle est contrainte par la géographie. Les Chinois, qui ont parfaitement compris ce défi et disposent des ressources suffisantes pour le relever, alignent désormais des drones HALE AEW en complément de leur composante habitée.

Une seconde faiblesse réside dans le manque d'épaisseur et/ou la distribution encore insuffisante de ces systèmes. C'est clairement le cas des systèmes occidentaux (hormis ceux de l'US Navy et récemment de l'US Army en ce qui concerne la distribution, voir ci-dessous). C'est aussi le cas des Russes dans une certaine mesure. Actuellement, dans leurs systèmes, la veille est bien distribuée puisque les nœuds de C2 des unités de S-300/S-400 peuvent intégrer des données permettant l'engagement provenant non seulement des capteurs organiques mais aussi de multiples autres radars dont ceux opérant en VHF (NEBO de différents types notamment), opérant en cluster²⁶. Les Russes introduisent de plus une nouvelle version du *Cheese Board*, le 96L6-AP, qui met en œuvre trois goniomètres en lien avec l'antenne émettrice. Elle serait utilisée sur les Vityaz S-350 moyenne portée et probablement sur les S-400/S-500²⁷. Cependant, ces architectures reposent toujours d'une part sur des radars à émissions monostatiques, donc vulnérables tant à une attaque cinétique qu'à la GE, d'autre part sur une intégration centralisée de ces données par des nœuds de C2 eux-mêmes vulnérables, non sur une distribution horizontale, c'est-à-dire une liaison directe entre radars exogènes et missiles d'un système surface-air donné. De surcroît, cette veille distribuée converge vers le S-300/S-400 mais peu d'éléments accréditent la possibilité d'une distribution vers d'autres systèmes, ce que les Russes compensent en partie, il est vrai, par le panachage de missiles de différentes portées sur un unique système. Chez les Russes, ces éléments de veille et de C2 restent probablement trop peu nombreux pour garantir une défense de zone suffisamment redondante face à une campagne de SEAD massive par saturation telle que pourrait théoriquement l'entreprendre l'OTAN. Bon nombre seraient d'ailleurs probablement concentrés sur les sites les plus stratégiques de la dissuasion russe, dans une logique de bastion. Sur les théâtres d'opérations extérieures ou entre les mains d'opérateurs régionaux moins bien pourvus, l'asymétrie capacitaire entre ces *kill chains* « verticales » et la puissance aérienne s'accroît.

Ces radars de veille et nœuds de C2 constituent donc à bien des égards les centres de gravité de ces SDAI. Une fois ces éléments neutralisés, le système de DA n'est plus en mesure de réaliser des opérations intégrées. **Faute de ces données de surveillance de l'espace aérien,**

²⁴ Михаил Ходаренок, « С-400 за Шайрат не отвечает », *Gazeta*, 7 avril 2017 – <https://www.gazeta.ru/army/2017/04/07/10615685.shtml>

²⁵ Michael Pelosi, Amie K. Honeycutt, « Cruise Missile Integrated Air Defense System Penetration: Modeling the S-400 System », *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, Vol. 4, n° 3, article 2, 24 juin 2017.

²⁶ Olivier Dujardin, « Comment fonctionne le système antiaérien russe S-400 ? », Note renseignement, technologie et armement, C2FR, n° 33, juillet 2021.

²⁷ Olivier Dujardin, « 96L6-AP vs AN/ALQ-249 : rupture russe dans la détection », Note renseignement, technologie et armement, C2FR, n° 34, août 2021.

un dispositif de défense, même multicouche dans le cas russe, perdra mécaniquement sa cohérence et les effecteurs du SDAI, les unités surface-air, opèreront isolément en mode dégradé. C'est typiquement ce que l'on constate à l'occasion des affrontements précités, avec le Pantsir face aux drones TB2 : le système de DA est en situation d'infériorité informationnelle face à l'attaquant (portée des capteurs et faible SER des drones, attaque basse altitude) et le guidage semi-actif limite la puissance de feu à quatre missiles, sur un champ bien défini²⁸. Or, à des échelles et des niveaux de complexité tactique certes supérieurs, la plupart des systèmes sol-air longue portée, qu'ils soient occidentaux, russes ou chinois, se trouveraient dans une situation assez identique. Prenons encore une fois le cas du S-400. Une fois neutralisés son radar de veille régimentaire 3D à longue portée, le 91N6E *Big Bird*, les 96L6, les plus performants, rattachés au bataillon, et les différents types de NEBO qui peuvent être associés au régiment, le système ne pourrait plus guère se défendre contre une attaque de saturation : le radar de poursuite *Grave Stone* du bataillon ne couvre qu'un azimut de 100° et ne peut guider dans ce cône que 12 missiles sur 6 cibles. Bien entendu, le mode d'action de SEAD serait rendu plus complexe par d'éventuels brouilleurs tels les Krasukha, peu nombreux et eux-mêmes vulnérables, et par les systèmes de DA en « *goalkeeper* » de ces radars, mais ces systèmes sont non distribués.

Enfin, il convient de mentionner un autre **atout certain des Occidentaux, tout particulièrement des Américains, celui du renseignement** : les postures de déploiement, les OPEX continues, la richesse de leurs capacités ISR spatiales, ainsi que les nombreux partenariats permettant les acquisitions de matériels fournissant du renseignement technique, contribuent très certainement à actualiser la préparation opérationnelle pour faire face à cette menace. S'il est très probable que les Russes ont eux-mêmes beaucoup appris en la matière de leur déploiement en Syrie, le « gap d'exploitation » avec les Occidentaux est-il pour autant comblé ? Il est permis d'en douter. Il est *a fortiori* encore plus important avec les Chinois, dont l'expérience opérationnelle est nettement moindre.

²⁸ I. E., Makarenko S. I., Petrov S. V., A. A. Privalov, *op. cit.*

Des évolutions contradictoires sur le moyen-long terme

1. Une confrontation incertaine dans le domaine électromagnétique

Tout d'abord, cette évolution de la balance capacitaire va probablement concerner la déterminante confrontation dans le champ électromagnétique. Notons qu'il est particulièrement malaisé de l'estimer précisément en source ouverte. Cependant, des ordres de grandeur peuvent être tracés.

Le premier aspect concerne la furtivité, vivement débattue, soit pour en souligner l'apport indispensable, soit, plus souvent, pour en critiquer l'obsolescence face aux radars basse fréquence ou à la distribution naissante des architectures. Il est certes notoire que les techniques de furtivité ont été conçues pour déjouer avant tout les radars en bande X, C ou S et que cette SER est nettement moins atténuée dans les bandes VHF. Cependant, même réduite face aux radars de veille, elle pose des problèmes dans l'acquisition et la poursuite des cibles. De plus, les travaux portent en général sur la forme et les dimensions des appareils et, s'ils les mentionnent, ne peuvent pas concrètement prendre en compte les techniques de suppression de signaux, forcément classifiées, qui sont susceptibles d'affecter également les plus basses fréquences. Or, ces techniques auraient beaucoup évolué entre, par exemple, un B-2 et un F-35. Ce dernier emploierait une nouvelle technologie de « trame de fibres » à nanotubes de carbone efficace même face dans les bandes VHF, ce dans toutes les directions, faisant peut-être de cet appareil le plus furtif de l'arsenal américain en dépit de sa forme²⁹. Interviennent également les considérations sur le maintien en condition opérationnelle (MCO) de ces capacités, particulièrement ardu, notamment sur les premières générations d'appareils. De sorte que l'introduction d'un nombre croissant de F-35, en dépit des difficultés qui affectent le programme, et des premiers B-21 dans la prochaine décennie devrait mécaniquement contribuer à compliquer la tâche des SDAI. Cette contrainte de MCO est peut-être un des facteurs principaux motivant la décision de l'USAF de remplacer précocement les F-22 par les futurs appareils de *Next Generation Air Dominance* (NGAD) dès la prochaine décennie.

La confrontation CME / CCME est elle aussi particulièrement difficile sinon impossible à apprécier dans le détail car elle repose sur de nombreuses variables cachées : efficacité des émetteurs / récepteurs, capacités de calcul, bases de données ELINT, des variables qui se complexifient plus encore avec la généralisation des équipements « *software-defined* », le recours aux algorithmes d'intelligence artificielle pour une GE « cognitive », l'intrication avec la lutte

²⁹ « RF-IR Stealth (Techniques/Benefits) », *Aircraft 101*, 4 mars 2016 – <https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/03/04/stealth-techniques-and-benefits/> ; le nom de l'auteur de ce blog, de loin le plus détaillé sur le sujet, est inconnu. Son pseudo est « VuVuZela ».

informatique offensive *via* l'intrusion électronique, etc. Raisonnablement, là encore, tendancielle-ment. Ainsi, sur le plan offensif, les Américains attendent une rupture avec la mise en œuvre des nouveaux brouilleurs AN/ALQ-249 au Nitrure de Gallium (GaN) qui s'apprêtent à remplacer incrémentalement, sur le EA-18G Growler, l'ALQ-99 obsolète et peu fiable. Ces *Next Generation Jammers* couvriront tout d'abord la *Mid-Band* puis les *Low-Bands*, précisément les radars VHF. On peut cependant se demander si cet accroissement très progressif de la puissance de combat furtive et l'entrée en service tardive d'un système comme l'AN/ALQ-249, au développement particulièrement long, n'arrivent pas trop tard compte tenu des évolutions en cours des systèmes russes et, probablement, chinois.

C'est possible mais il faut tenir compte d'une autre variable cachée, celle **des capacités de LIO tactique**. Leur développement ne fait plus mystère chez les Américains qui se fondent sur vingt ans d'expérience avec le fameux projet Suter.

Rappelons que Suter a été testé par l'Air Force dans le cadre de l'expérimentation JEFX 2000³⁰. 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 opérations³¹. 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 également mis en œuvre par les Israéliens, qui l'auraient employé à l'occasion de l'opération *Orchard* menée en Syrie en 2007³². Certes, d'autres sources évoquent l'insertion manuelle ou *via* le réseau de fibre optique³³, ce qui montre bien qu'en matière de cyber, les données de source ouverte restent très incertaines. 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 l'ensemble du C2 du SDAI.

La LIO peut donc en théorie affecter un réseau distribué, et non simplement un système isolé, plus sûrement que les CME classiques. Encore faut-il que les procédés et la technologie évoluent. Actuellement, la LIO est la résultante d'un processus complexe et long de renseignement et de planification, mené principalement par les institutions de niveau stratégique et dont les éléments tactiques ne sont que des vecteurs d'intrusion. Si ces capacités sont certainement efficaces contre un système ou une architecture exposée à la surveillance et stable sur le long terme, l'ensemble manque forcément de réactivité pour affecter un réseau-cible dont la topologie et les autres caractéristiques se dévoilent de façon *ad hoc*, qui est bien protégé ou est

³⁰ Lt. Col. Kurt Kuzniczci, « Project Suter makes JEFX début », *Air Intelligence Agency*, non daté.

³¹ « PE 0305221F / Network-Centric Collaborative Targeting », *PB 2020 Air Force, Research, Development, Test & Evaluation, Air Force / BA 7: Operational Systems Development, Volume 3b*, février 2019, p. 381. Voir également pour plus de détails, « Cyberworld's Black Knights, Suter V Project Emerges from the Black », *Defense Update*, 26 mai 2008 – https://defense-update.com/20080526_suter_v.html

³² Voir les articles de David A. Fulghum d'*Aviation Week* tels que « Why Syria's Air Defenses Failed to Detect Israelis », *Aviation Week and Space Technology*, 3 octobre 2007 ; et Richard B. Gasparre, « The Israeli 'E-tack' on Syria – Part II », *Airforce Technology*, 10 mars 2008 – <https://www.airforce-technology.com/features/feature1669/>

³³ Corentin Brustlein, Etienne de Durand, Elie Tenenbaum, « Le développement des défenses sol-air et des contre-stratégies aériennes », IFRI, étude réalisée au profit du CESA et de l'EMAA, 2013, pp. 167-168.

reconfiguré régulièrement³⁴. Il n'est cependant pas impossible qu'à terme les développements rapides dans certains secteurs autorisent en partie une plus grande agilité de ces opérations.

L'attaque électronique ne se limitera plus aux CME mais pourra aussi reposer sur des **charges utiles électromagnétiques de forte puissance (HPEM)**. La plus-value de ces armes réside d'une part dans leurs effets de zone, même si leur portée reste limitée à quelques dizaines ou centaines de mètres, d'autre part dans les multiples décharges qu'elles peuvent délivrer. Il apparaît que ces technologies mûrissent enfin de façon crédible, surmontant progressivement leurs deux principaux écueils : l'incertitude des effets, particulièrement pour les armes « *front-door* » qui délivrent des charges sur les mêmes fréquences que les récepteurs-cibles, et le facteur *size, weight and power* (SWAP), en l'occurrence par des systèmes à semi-conducteurs compacts pouvant être embarqués dans des MGP. Les Américains semblent déjà disposer de missiles opérationnels dotés de telles charges (mais qui paraissent en l'occurrence ici plus probablement fonctionner en « *back door* » générant des surcharges électriques *via* les interstices de leurs cibles) : le *Counter-Electronics High-Powered Microwave Advanced Missile Project* (CHAMP) et peut-être le *High Power Joint Electromagnetic Non-Kinetic Strike* (HIJENKS) sur JASSM-ER (d'une charge utile de 454 kg)³⁵.

Dernier volet de la confrontation électromagnétique, **la supériorité en « Navigation Warfare » reste un « enabler » déterminant**, tout particulièrement pour garantir la frappe de précision. Face au brouillage du GPS, une constante de la GE russe, le DoD travaille sur de multiples axes. Le premier vise à renforcer ou diversifier ces signaux (nouveau M-Code du GPS III, expérimentation NTS-3 de nouvelles technologies de GNSS sur des satellites en orbite basse par l'USAF en 2023³⁶, capacités PNT de la nouvelle architecture de la *Space Development Agency* – SDA). Le second consiste à limiter la dépendance à leur égard des plates-formes et armements. Des solutions existeraient déjà sur les plates-formes (sources de données variées des centrales à inertielle), sur les missiles de croisière (réseau d'antennes G-STAR sur le JASSM depuis plus de 10 ans³⁷, retour à un dispositif TERCOM/DSMAC modernisé sur le nouveau Tomahawk block V³⁸) ou encore sur les drones (odométrie inertielle visuelle), sans doute sur les autres missiles volumineux. Les guidages terminaux s'éloignent quant à eux de la simple frappe sur coordonnées pour reposer sur des autodirecteurs radars et/ou infrarouges. Le problème réside surtout dans la qualité de navigation de ces munitions de précision de plus petites dimensions et de moyenne portée (comme les JDAM ou les *Small Diameter Bombs*). Elle nécessite d'embarquer des centrales inertielles à la fois performantes, miniaturisées et peu

³⁴ Lt Col Benjamin Ramsey, USAF and Mr. Robert Colletti, « Six Myths About Offensive CyberOperations », Air Land Sea Application (ALSA) Center, 1er octobre 2020 – <https://www.alsa.mil/News/Article/2489623/six-myths-about-offensive-cyber-operations/> ; Justin Bronk, « The Truth About Cyber Warfare's Impact On Airpower », *The War Zone*, 18 août 2021 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/42006/the-reality-of-how-cyber-warfare-will-impact-aerial-combat>

³⁵ 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 mai 2019 – <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7037549/Air-Force-deployed-20-missiles-fry-military-electronics-North-Korea-Iran.html>

³⁶ Air Force Research Laboratory, « Navigation Technology Satellite – 3 (NTS-3) » – <https://afresearchlab.com/technology/space-vehicles/successstories/nts-3>

³⁷ Robert K. Ackerman, « Jam-Proof Signals To Guide Navigation », *Signal*, novembre 2001.

³⁸ Raymond McConoly, « How Tomahawk Finds Its Target », *Naval Post*, 22 mai 2021 – <https://navalpost.com/how-tomahawk-missile-find-its-target/>

coûteuses. En la matière, des solutions à microsystème électromécanique (MEMS) comme celles d'Honeywell, mûries dans le cadre du programme *Precise Robust Inertial Guidance for Munitions* (PRIGM) mené par la DARPA sur 2016-2019, seraient disponibles pour garantir cette précision, mais sur des temps de vol encore limités à 2-3 minutes, correspondant à des distances de quelques dizaines de kilomètres pour une arme subsonique³⁹. Les plus grandes distances et les plus hautes vitesses nécessitent de nouvelles technologies encore non maîtrisées.

2. Sur le moyen terme, une modernisation impulsée par les Américains accroissant l'avantage des puissances aériennes

On peut avancer qu'à court-moyen terme, l'avantage de la puissance aérienne devrait aller croissant compte tenu des capacités en cours de constitution, portées par l'effort de modernisation massif des Etats-Unis.

2.1. L'hypervélocité, clé de la suppression des radars de veille

À moyen terme, les efforts de modernisation, notamment américains mais aussi chinois, vont provoquer plusieurs autres évolutions capacitaires, potentiellement plus disruptives encore.

L'introduction des armes hypersoniques va ainsi constituer une rupture au profit de la SEAD.

À des vitesses de Mach 5 ou plus, un tel missile parcourra la distance de quelques centaines de kilomètres correspondant à la portée de détection d'un radar de veille longue portée de surface en quelques minutes, assez rapidement pour le frapper avant sa relocalisation. Ces armes posent d'autres défis énormes au système de DA : leur vitesse ne facilite pas une poursuite de précision ; leur manœuvrabilité, même limitée, permet de déjouer les points de rendez-vous avec l'intercepteur fixé sur la base de ces données (une caractéristique dont disposent déjà les missiles quasi-balistiques dans la phase terminale de leur vol) ; leur profil de vol endoatmosphérique pose des contraintes de manœuvrabilité énorme à l'intercepteur – et encore faut-il que ce dernier puisse atteindre les altitudes requises en haut endoatmosphérique dans le cas d'un planeur (parcours à plus de 50 km avant le plongeon en phase terminale) ; la vitesse de ces armes disqualifie les intercepteurs terminaux comme le PAC-3. Bien entendu, cette rupture ne sera que transitoire tant les efforts pour garantir une *kill chain* contre ces missiles sont eux-aussi importants (voir ci-dessous).

Les systèmes à planeur constituent la première génération de ces armes à arriver à maturité. La première arme opérationnelle est peut-être le DF-17 chinois (depuis 2020), probablement pour cibler les systèmes antimissiles américains et japonais. Aux États-Unis, où il s'agit d'une priorité absolue des efforts de contre-A2/AD, plusieurs programmes devraient commencer à entrer en service dans les prochaines années :

³⁹ U.S. Army Combat Capabilities Development Command – Aviation & Missile Center, *Science and Technology Overview*, 26 November 2019.

- ➔ Le *Common Hypersonic Glide Body* commun aux programmes de *Long-Range Hypersonic Weapon* (LRHW) que l'US Army entend commencer à déployer en 2023-24 et au *Conventional Prompt Strike* (CPS) que l'U.S. Navy mettra en œuvre à partir de ses destroyers *Zumwalt* en 2025 et *SNA Virginia* en 2028 ;
- ➔ L'AGM-183 *Air-Launched Rapid Response Weapon* (ARRW), plus sophistiqué car mettant en œuvre le *Tactical Boost-Glide* (TBG) développé par la DARPA, que l'Air Force souhaitait aligner sur B-52 et même sur F-15, là encore dès 2022-2023 (une perspective devenant incertaine avec les échecs des tests récents) ;
- ➔ Enfin l'*OpFires* développé par la DARPA.

Ces systèmes sont des armes de théâtre (conventionnelles dans le cas américain, peut-être duales dans le cas chinois) de l'ordre de 1 500 à 2 500 km de portée, contrairement aux systèmes russes comme l'Avangard de dissuasion nucléaire stratégique, que nous ne traiterons pas ici. Ces systèmes mettront en œuvre à court/moyen terme des liaisons de données pour actualiser la désignation d'objectif. Leur tête reste en revanche de petite dimension et les études ont montré que la vitesse n'apporte pas grand-chose en matière de pénétration physique des cibles enterrées. Étant donné leur coût, de plusieurs millions à dizaines de millions de dollars, ce sont des armes à utiliser sur des cibles de haute valeur, fixes, peu ou pas protégées. Elles constituent, en d'autres termes, l'équipement idoine pour précisément neutraliser les radars de veille.

Ces systèmes seront rejoints par les missiles de croisière à superstatoréacteur, plus flexibles d'emploi mais plus difficiles à développer. Les Russes seraient peut-être les plus avancés avec le développement du Zircon 3M22 surface-surface, dont on sait finalement peu de choses. Ils ont annoncé tester un missile air-surface délivrable par le Su-57 qui serait donc complémentaire du Kinzhal mis en œuvre par MiG-31⁴⁰. Les Américains les talonneraient. L'Air Force poursuit de multiples efforts de R&D : l'*Hypersonic Air-breathing Weapon Concept* (HAWC) en lien avec la DARPA, pour lequel l'un des deux consortiums retenus, Raytheon/Northrop Grumman, vient de réussir son premier vol, l'*Expendable Hypersonic Air-Breathing Multi-Mission Demonstrator Program* (Mayhem), le *Southern Cross Integrated Flight Research Experiment* (SCIFIRE) développé avec l'Australie, ou encore l'*Hypersonic Attack Cruise Missile* (HACM). Les hiérarques du Pentagone considèrent que la maturation de la technologie est plus avancée que ce qui était envisagé il y a encore trois ou quatre ans et qu'une mise en œuvre opérationnelle devient crédible à court terme⁴¹.

2.2. La saturation par les systèmes autonomes

À la foudroyance de la frappe hypersonique et à la paralysie informationnelle découlant de l'attaque électronique s'ajoutera **l'approfondissement des effets de saturation par les systèmes autonomes**. Les drones-munitions, notamment les munitions maraudeuses, ont déjà

⁴⁰ Thomas Newdick, « Russia Claims Its Su-57 Felon Fighter Has Been Testing A New Hypersonic Missile », *The War Zone*, 17 février 2021 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/39312/russia-claims-its-su-57-felon-fighter-has-been-testing-a-new-hypersonic-missile>

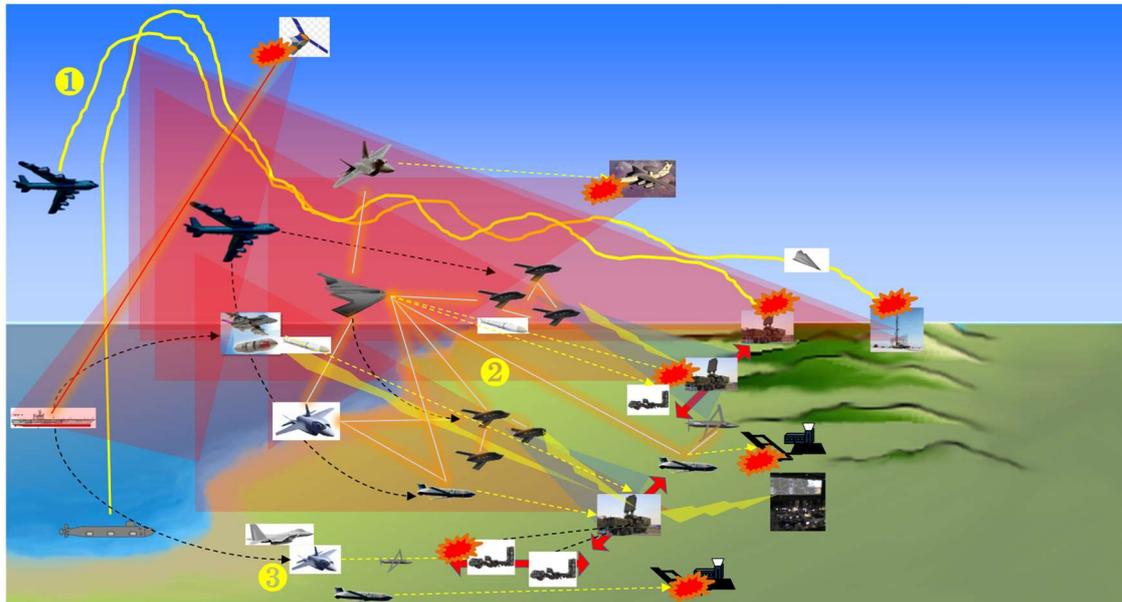
⁴¹ Steve Trimble Guy Norris, « Scramjet-Powered Cruise Missile Emerges As New U.S. Priority », *Aviation Week Network*, 30 janvier 2020 – <https://aviationweek.com/defense-space/missile-defense-weapons/scramjet-powered-cruise-missile-emerges-new-us-priority>

fait la preuve de leur efficacité, comme nous l'avons vu. Elles ont vocation à se répandre également au sein des forces occidentales qui leur ont préféré jusqu'à présent les missiles de croisière et les missiles ou bombes guidés traditionnels mais qui n'attendent sans doute pas les futures architectures NGAD ou SCAF pour intégrer ces nouveaux moyens. En la matière, au sein des forces américaines, ce sera en premier lieu l'US Army qui déploiera des *Long-Range Effects* (par la *Field Artillery*) ou des *Air-Launched Effects* (par les drones et hélicoptères de l'*Army Aviation*). L'Army étudie la mise à poste de tels types de munitions maraudeuses sur ses missiles hypersoniques⁴². Le *high-low mix* souhaité depuis de nombreuses années par l'USAF pour remassifier ses capacités passe, lui, par des drones peu coûteux, tels les Walkyrie, Airwolf de Kratos ou Gremlins de Dynetics. L'*Air Combat Command* n'a pas fait mystère de sa volonté d'acquérir au plus vite des engins de ce type. L'un des trois principaux projets de R&D du *Service*, Skyborg, vise précisément à développer d'ici 2023 le cœur du système autonome (IA, etc.) qui équipera ces drones « attritables », afin de leur permettre d'opérer comme leurre, délivreur de PGM ou moyen ISR en *manned-unmanned teaming* avec les plates-formes plus sophistiquées (F-35, B-21) dans les environnements contestés.

Au final, il semble que se dégage de ces développements conceptuels et capacitaires, au moins pour l'Air Force, ou plus largement pour une composante aérienne américaine, un mix capacitaire de SEAD dans lequel la très haute vitesse, la dronisation massive et les avancées de la guerre électronique et de la LIO permettraient de renouveler les modalités de l'approche classique de contre-SDAI : aveuglement initial de l'alerte précoce ; désintégration rapide de l'ensemble du SDAI, notamment de son BMC2 ; ensuite attrition des nombreux éléments isolés.

⁴² Joseph Trevithick, « Pentagon has Tested a Suicide Drone that Gets to its Target Area at Hypersonic Speed », *The War Zone*, 8 juin 2020 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/33934/pentagon-has-tested-a-suicide-drone-that-gets-to-its-target-area-at-hypersonic-speed>

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



- ① AVEUGLEMENT « stand-off » par la vélocité (frappes hypersoniques) vs. réseau d'alerte précoce & radars SALP si localisés, la paralysie informationnelle (LIO) vs. BMC2, counterspace vs. satellites ISR
- ② DÉSINTÉGRATION par saturation => effets de suppression/destruction/paralysie informationnelle : dispositif *stand-in* semi-autonome (drones/munitions) x plateformes pénétrantes en quarterback et frappes véloces x frappes stand-off x chasse x LIO vs. HVT mobiles (i.e. radars SALP) / BMC2 / chasse / bases clés
- ③ ATTRITION : effets de destruction/suppression par puissance aérienne « legacy » vs. éléments isolés du SDAI

Source : schéma repris et amendé de Philippe Gros, Stéphane Delory, Vincent Turret, Aude Thomas, « La neutralisation des défenses aériennes adverses (SEAD) », FRS, Observatoire des conflits futurs, octobre 2020, p. 17

2.3. L'intégration du combat multi-milieux aérospatial

La dernière évolution, qui reste encore à concrétiser, réside dans la **pleine intégration des capacités spatiales en appui de la SEAD**. De façon générale, rappelons que l'interconnexion de l'ensemble de ces capteurs, éléments de C2 et effecteurs, reste au cœur de la démarche intégratrice américaine, jalonnée par le concept de *Network Centric Warfare* il y a vingt ans, *AirSea Battle* il y a dix ans, les *Multidomain Operations* et actuellement les *Joint All Domain Operations* (JADO). L'architecture de commandement interarmées de ces JADO est le JADC2 et l'architecture Air Force est l'ABMS (*Advanced Battle Management System*). L'appui spatial aux opérations de niveau tactique n'est certes pas une nouveauté : depuis les années 1990, la communauté du renseignement (notamment le NRO, la NSA ou encore la NGA) a développé avec les *services*, de substantielles capacités en la matière, notamment au travers des programmes *Tactical Exploitation of National Capabilities* (TENCAP) qui se poursuivent de nos jours. Les efforts restent fragmentés entre *services*, voire entre commandements en leur sein. Dans le domaine de la surveillance du champ de bataille, l'Air Force caresse depuis longtemps le rêve de placer des radars en orbite mais le coût des architectures spatiales s'était chargé de faire dérailler les différents projets. Cela étant, la compétition donne des ailes à la stratégie capacitaire américaine. L'USAF a décidé de ne pas remplacer sa flotte vieillissante de E-8

JSTARS, précisément, comme vient de le déclassifier la *Space Force*, en faveur d'une initiative de développement capacitaire rapide d'une capacité de *Space-Based GMTI* lancée en 2018⁴³.

La SDA, créée en 2019, a développé une vaste architecture qu'elle présente comme la composante spatiale du JADC2. Elle doit exploiter pleinement les tendances actuelles des systèmes spatiaux commerciaux pour reposer à terme sur des centaines de satellites en orbite basse en de multiples couches fonctionnelles : « *tracking* » (alerte avancée par capteurs IR), « *transport* » (SATCOM), « *custody* » (ISR), PNT. La couche « *custody* » vise la fusion multicapteurs (EO/IR, SAR, hyperspectrale, RF, etc.) pour fournir un appui au ciblage d'opportunité. Si ce volet de l'architecture reste le moins mûr de toute évidence, les développements les plus proches portant sur les couches « *tracking* » et « *transport* », cette fois dans une optique de lutte antimissile, préfigurent bien la tendance : des capteurs transférant leurs données sur les satellites de SATCOM, lesquels, après un traitement à bord semi-automatisé (avec force IA bien entendu), assurent une insertion directe d'éléments dans les réseaux de liaison de données tactique (en l'occurrence la L16). Avec la mise en service concomitante, au sein de l'USAF ou de la Navy, des *Network-Enabled Weapons* et, dans un avenir proche, des *Networked Collaborative and Autonomous (NCA) weapons*, cela signifie, comme le précise la SDA, une logique de « *Data directly to weapons* ».

Le calendrier est particulièrement agressif puisque la SDA a déjà entamé sa phase de réduction du risque et entend dès 2022 commencer une « Tranche 0 » initiale. L'objectif d'une « couverture régionale périodique » pour la fonction *custody* est remise à la Tranche 1, devant être mise à poste à partir de 2024⁴⁴. À dire vrai, en dehors de la démonstration en cours, le déploiement réel de l'ensemble de l'architecture reste incertain. Tout d'abord, l'historique des programmes spatiaux militaires américains incite à la prudence quant aux présuppositions de levée de tous les défis technologiques ou encore de contrôle des coûts, *a fortiori* dans un programme affichant un calendrier aussi rapproché entre des démonstrations encore en cours et un déploiement complet. Ensuite et surtout, la SDA doit être incorporée dans l'*US Space Force* en 2022. Or, jusque récemment, les responsables n'étaient pas d'accord sur la viabilité de cette architecture, comparée à celle plus conservatrice misant sur des satellites classiques plus performants mais aussi plus longs à développer. Cela étant, il semble que le *Space and Missile Center*, bras armé de la *Space Force* dans le développement capacitaire, converge désormais sur la vision de la SDA⁴⁵. Restent deux questions centrales à résoudre : la première est la doctrine de C2 qui sous-tendra l'emploi de ces capacités au profit des forces, notamment qui exerce le contrôle tactique ? Quand et selon quelles conditions ? La seconde réside dans l'harmonisation des segments utilisateurs, traditionnellement entre les mains des *Services* et, de ce fait, talon d'Achille classique des efforts d'interopérabilité américains.

Les Chinois semblent dans une position analogue mais avec un écart encore plus marqué entre maturité technologique et mise en œuvre opérationnelle : les multiples constellations (Yao-

⁴³ Sandra Erwin, « Space Force looking to deploy radar satellites to track moving targets on the ground », *Space News*, 12 mai 2021 – <https://spacenews.com/space-force-looking-to-deploy-radar-satellites-to-track-moving-targets-on-the-ground/>

⁴⁴ Dr. Derek Tournear, Director, SDA, OUSD (R&E), *Delivering Capabilities*, 8 mars 2021 – <https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2021/post/Tournear.pdf>

⁴⁵ Sandra Erwin, « Space Force planning for a future of smaller, cheaper satellites », *Space News*, 8 mars 2021 – <https://spacenews.com/space-force-planning-for-a-future-of-smaller-cheaper-satellites/>

gan-30 et 31 en ELINT, autres Yaogan militaires en ROIM optique et SAR et Gao-Feng d'interférométrie civils, etc.) mises à poste à marche forcée ces dernières années leur permettent désormais, au moins dans la sous-région du Pacifique occidental, d'assurer une couverture ELINT complète et un taux de revisite s'étoffant en ROIM (estimé déjà à 2h en 2015) garantissant un appui spatial à la SEAD, qui se confond au demeurant dans une large mesure avec la lutte antinavire⁴⁶. Cela étant, sur le plan de la préparation opérationnelle, l'intégration interarmées entre la nouvelle force de soutien stratégique, qui reste sous contrôle de la Commission Militaire Centrale, et les différentes armées en est encore à ses balbutiements et reste contrainte par le contrôle politique. Pour les autres puissances, cette intégration ne peut se décliner le cas échéant que sur le long terme et avec nettement moins de ressources. Si elle advient, elle sera portée largement par la sollicitation des ressources commerciales dans une logique duale.

3. Sur le long terme, de nouvelles percées pourraient rétablir l'équilibre en faveur de la DA

Pour autant, la messe n'est pas dite en faveur de la puissance aérienne. Une série de tendances technico-opérationnelles devraient à leur tour renforcer considérablement les capacités des SDAI/SIDAAM sur le moyen et surtout long terme, précisément au moment où les architectures SCAF/NGAD devraient arriver à maturité. Avec les évolutions précitées, le principal défi pour les DA est de renforcer leur efficacité mais aussi leur résilience contre d'une part les missiles et les drones, d'autre part les architectures de combat, prenant sans doute le pas sur les plates-formes comme éléments déterminants de la SEAD.

3.1. Deux tendances déjà en cours : les counter-UAS / counter-RAM et la modernisation continue des radars

3.1.1. Des capacités de counter-UAS / counter-RAM qui vont mécaniquement affecter la frappe de saturation

Plusieurs évolutions se dessinent déjà clairement. La première, bien engagée, réside dans **les efforts de counter-UAS (CUAS)** générés par la prolifération des mini-drones de toute nature, sur les théâtres comme les espaces métropolitains. Les nouvelles solutions de détection de ces objets (radars à micro-ondes par exemple) et les effecteurs adaptés se diffusent à leur tour. Actuellement, ces effecteurs résident avant tout dans les contre-mesures électroniques mais d'autres vont faire progressivement leur apparition, ce d'autant que les techniques d'IA progressant, les drones les plus sophistiqués seront de moins en moins dépendants de leur segment de liaison. À ce besoin s'ajoute celui du **C-RAM (Counter-Rocket, Artillery and Mortars)** qui croît également avec la diffusion des roquettes peu coûteuses, de portées plus grandes, de plus en plus souvent guidées.

⁴⁶ Voir les trois articles d'Henri Kenhmann, très précis – <http://www.eastpendulum.com/tag/satellite> ainsi que Deren Li, Mi Wang & Jie Jiang, « China's high-resolution optical remote sensing satellites and their mapping applications », *Geo-spatial Information Science*, 24:1, 2021, pp. 85-94.

Ces C-UAS et C-RAM vont représenter **le premier domaine d'emploi des armes à énergie dirigée** : après des décennies d'espoirs déçus, les solutions de laser de quelques dizaines de kW de puissance, offrant des performances crédibles en termes de portée, de durée d'illumination ou de mise en œuvre, contre les cibles lentes et peu durcies, semblent cette fois atteindre un niveau de maturité suffisant pour espérer des mises en œuvre à court terme. L'Army prévoit par exemple d'équiper tous ses bataillons de défense CP d'une batterie de laser dans les quatre à six prochaines années. Reste le problème de la sécurité oculaire, central pour la question des dommages collatéraux. Les lasers les plus avancés restent des systèmes émettant à environ 1,5 μm , particulièrement dangereux pour la rétine des personnes se trouvant dans l'axe du tir ou exposé à une réflexion. Cela étant, la maturité des lasers à (relative) sûreté oculaire, émettant dans les 2 μm , suit de peu. Les HPEM connaissent, elles-aussi, comme nous l'avons vu, des percées technologiques crédibilisant leur déploiement, en l'occurrence en défense de site contre les essaims de drones.

Les nouveaux effecteurs résident en CUAS également dans les mini-drones eux-mêmes, utilisés en collision. Cela étant, ces drones peuvent eux-mêmes embarquer des charges non cinétiques, de CME ou à énergie dirigée à l'instar du récent test d'un Coyote de Raytheon par l'Army, qui a neutralisé 10 mini-drones⁴⁷. En C-RAM, il s'agit du développement de missiles miniaturisés peu coûteux pouvant émuler le « *cost-exchange ratio* » avec les tirs de roquettes. En l'état, le système *Iron Dome* israélien représente le niveau de « miniaturisation » le plus abouti mais reste encore trop lourd et trop coûteux pour présenter une option crédible face à la frappe de saturation pour de nombreux opérateurs moins fortunés que les Israéliens.

Ces défis des C-UAS/C-RAM poussent également à une réorganisation de la DA avec une ramification des défenses allant au-delà des simples MANPADS aux plus bas échelons tactiques. Toutes ces mutations vont mécaniquement avoir pour effet, à moyen terme, de **compliquer considérablement la tâche des drones-munitions et des MGP de la puissance aérienne classique et d'élever les seuils de saturation**.

3.1.2. L'amélioration continue des radars

Une autre évolution, continue, réside dans **l'amélioration de la performances des moyens de détection, à commencer par les radars**. Depuis plusieurs années, le balayage électronique reposant sur les réseaux à commande de phase a déjà provoqué une rupture dans l'efficacité, la polyvalence des radars mais aussi leur résistance aux CME. Plusieurs nouvelles technologies vont l'accentuer. Il s'agit notamment, sur le plan des matériaux, du recours au Nitrure de Gallium (GaN) qui permet d'augmenter considérablement la puissance et les bandes de fréquences des dispositifs. D'autres progrès matériels sont à évoquer comme la conception des antennes AESA en tuile plutôt qu'en latte classique. Elles permettront de réduire la complexité et donc le coût de fabrication et d'accroître notablement la modularité du radar. Ces technologies permettent ainsi d'envisager de distribuer des capteurs de même conception – et donc pleinement interopérables – mais de puissance adaptée à leur mission, favorisant la dispersion du dispositif de détection (option retenue par exemple sur le Raytheon SPY-6 abordé ci-dessous). Par ailleurs, le radar n'échappe pas à l'évolution rapide de la numérisation. Au même titre que les communications, il engage sa mue vers des appareils « *software-defined* » (SDR)

⁴⁷ Brett Tingley, « Jet-Powered Coyote Drone Defeats Swarm In Army Tests », *The War Zone*, 26 juillet 2021 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/41689/latest-coyote-drone-variant-defeats-drone-swarm-in-new-army-tests>

dans lesquels le logiciel se substitue au matériel spécialisé pour les multiples tâches de traitement du signal. Outre le gain de place, cette évolution permet d'envisager à terme des équipements multifonctions assurant non seulement la détection radar multi-rôle mais aussi la surveillance électronique, les contre-mesures électroniques, voire les communications, même si des contraintes persistent. Ces avancées dans la gestion de la puissance, l'agilité de fréquence ou de balayage vont, enfin, accroître encore les difficultés des récepteurs à détecter ces radars.

3.2. Les distributions des architectures de détection puis de la Kill Chain engagées chez les Américains et les Chinois

Les SDR vont également faciliter **la distribution des architectures de détection**. Déjà, les dispositifs existants sont en mesure de répartir les émetteurs sur différents azimuts (largement utilisés sur les navires de combat par exemple) ou d'assurer une détection collaborative entre radars à émission mono-statique, voire la détection multistatique avec dispersion des récepteurs, ce qui permet d'améliorer considérablement la détection des cibles à faible SER et de mieux déjouer les CME adverses⁴⁸. Nous avons vu que ce dernier type d'architecture est pleinement mis en œuvre au sein des SDAI russes et certainement chinois. Cela étant, ces dispositifs restent lourds, complexes à mettre au point et à employer. L'apport des technologies comme le SDR, le GaN ou encore des conceptions plus modulaires est donc de nature réellement transformationnelle. Elles permettront aussi, à plus long terme, des dispositifs à émission et réception multistatiques (MIMO – *Multiple-Inputs/Multiple-Outputs*), au moins à des portées courtes et moyennes, autorisant une meilleure résolution encore et une couverture complète tout azimut. Les avancées technologiques dans la connectivité, comme la 5G typiquement, supporteront les transferts massifs de données entre les éléments de ces réseaux locaux. Ces architectures MIMO, en dispersant les émetteurs, compliqueront considérablement la frappe antiradar en SEAD.

Il n'est pas impossible également que finissent par se diffuser **les drones AEW**. La seule puissance en disposant aujourd'hui est la Chine, qui met en œuvre le vaste drone HALE Aigle Divin, polyvalent, disposant de sept radars AESA de différents types, opérant peut-être en dispositif multistatique, complémentirement au KJ-500, la nouvelle génération d'AWACS⁴⁹. Tant les Britanniques que le Marines Corps⁵⁰, qui ne disposent pas de cette capacité embarquée, ont exprimé des besoins pour un tel drone AEW embarqué. L'apport du système téléopéré pour cette mission AEW est évident, mais l'entreprise se heurte évidemment aux dimensions des capteurs, aux énormes besoins de bande passante et donc à la ressource énergétique de l'engin. À moins que le drone ne soit doté de capteurs infrarouges ou multispectraux dans une

⁴⁸ Ryszard Bil, Michael Brandfass, Johannes Pieter van Bezouwen, *Future Technological Challenges for High Performance Radars*, 19th International Radar Symposium IRS 2018, 20-22 juin 2018.

⁴⁹ Jeffrey Lin, P.W. Singer, « China Flies Its Largest Ever Drone: The Divine Eagle – It's Going to Hunt Stealth Bombers », *Popular Science*, 6 février 2015 – <https://www.popsci.com/china-flies-its-largest-ever-drone-divine-eagle/>

⁵⁰ L'USMC a cependant renoncé en 2020 à poursuivre son programme de *Marine Air Ground Task Force* (MAGTF) *Unmanned Aircraft System* (UAS) *Expeditionary* (MUX), qui devait transformer son HALE en couteau suisse en raison du coût prohibitif qui s'annonçait, ce qui ne signifie pas que le besoin soit caduc.

perspective de lutte antimissile, option que la MDA a testée en 2016 et que le ministère japonais de la Défense a annoncé considérer pour détecter les missiles hypersoniques chinois⁵¹. La portée de détection des systèmes optroniques des chasseurs actuels tangente déjà les 100 km dans des conditions optimales (aspects de la cible, conditions météorologiques tout particulièrement) et on peut penser que ces systèmes ainsi que les algorithmes de traitement vont gagner encore en performance pour atteindre des portées crédibles en AEW.

La distribution des architectures ne s'arrête pas à la création de systèmes de détection multistatistiques mais bien, à terme, à des systèmes de systèmes couvrant l'ensemble de la *kill chain* : détection-C2-effecteurs. Là encore, les Américains montrent la voie. Certes, l'acquisition de systèmes propriétaires par l'environnement à décideurs multiples que constitue le Pentagone ne facilite pas cette convergence mais elle progresse néanmoins, ne serait-ce que dans les opérations de milieu, dont les opérations aériennes et de défense aérienne. La Navy dispose déjà de *kill chains* distribuées avec le *Cooperative Engagement Capability* (CEC) et les déclinaisons du *Naval Integrated Fire Control – Counter-Air* (NIFC-CA). L'*Army Air and Missile Defense* (AMD) y parvient à son tour, après bien des difficultés et retards. Elle déploie cette année le premier incrément de son nouveau système de C2, l'*Integrated Battle Command System* (IBCS), qui interconnecte les radars de veille Sentinel et les éléments des batteries de Patriot. Ces chaînes restent aujourd'hui assez rigides et engerbent un nombre limité de systèmes. Cela étant, le concept JADO et les travaux de la DARPA sur *Mosaic Warfare* visent précisément à progresser vers des « *kill webs* » reconfigurables de façon dynamique quels que soient leurs milieux, en fonction des disponibilités et des circonstances. Si, en règle générale, le défi du C2 tactique de ces opérations distribuées reste non résolu, le C2 de la défense aérienne et antimissile présente déjà doctrinalement une forte intégration et devrait donc exploiter ces transformations plus aisément que d'autres fonctions opérationnelles.

Comme nous l'avons esquissé dans la section précédente, **cette distribution va également s'étendre à l'espace.** Dans le cas américain, il s'agit de la transformation de l'architecture existante (DSP puis SBIRS) qui permet la détection initiale et l'alerte en défense antimissile. La couche « *tracking* » de l'architecture développée par la SDA en lien avec la MDA comprendra ainsi des satellites IR LEO à large champ de vision pour améliorer cette capacité de détection ainsi que des *Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor* (HBTSS) à champ de vision moyen. L'objectif premier est de poursuivre et d'acquies des mobiles à forte signature infrarouge, en premier lieu les armes hypersoniques, mais la qualité croissante de ces capteurs IR rend parfaitement plausible un emploi élargi à la poursuite des aéronefs. Les satellites de génération précédente, celle du *Defense Support Program*, pouvaient déjà détecter la post-combustion des bombardiers Backfire⁵². L'alimentation en temps réel du réseau L16 permettra au moins une tenue de situation et un contrôle de l'engagement multimilieux. En revanche, l'engagement collaboratif proprement dit, une extension spatiale de NIFC-CA ou de l'IBCS, reste un sujet d'incertitude. En quelle mesure l'objectif de la SDA (« *direct data to weapon* ») couvrent-il spécifiquement cette capacité ? Avec quelles liaisons de données ? Quoi qu'il en soit, les

⁵¹ Thomas Newdick, « Japan Wants To Detect Incoming Hypersonic Missiles With Unmanned Aircraft », *The War Zone*, 9 août 2021 – <https://www.thedrive.com/the-war-zone/41909/japan-wants-to-detect-incoming-hypersonic-missiles-with-unmanned-aircraft>

⁵² Jeffrey T. Richelson, « Space-Based Early Warning: From MIDAS to DSP to SBIRS; Last DSP satellite to be launched tomorrow », *National Security Archive Electronic Briefing Book*, n° 235, 9 novembre 2007 – <https://nsarchive2.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB235/index.htm>

Américains vont probablement disposer d'une architecture distribuée multi-milieux à moyen terme.

Les Chinois livrent évidemment peu d'information à ce sujet mais comme nous l'avons vu, leur technologie se développe à grande vitesse en rattrapage : Pékin dispose déjà depuis plus de dix ans d'un équivalent de la L16 (le *Joint Service Integrated Data Link System* – JSIDLS) et a développé un système (terminaux DTS-03) présenté comme disposant de performances accrues, permettant l'*ad hoc networking* et peut-être une capacité analogue au CEC⁵³. On peut donc anticiper que la Chine disposera à son tour d'une architecture distribuée à moyen-long terme, avec cependant les retards à combler en termes d'emploi déjà exposés. Quant aux autres puissances, y compris la Russie, la perspective est évidemment plus éloignée dans la mesure où le coût de ces systèmes restera prohibitif pour beaucoup. On ne peut cependant exclure que plusieurs d'entre elles commencent à utiliser ce type de moyens au moment où le SCAF arrivera.

3.3. L'évolution à plus long terme des performances des effecteurs

Tout d'abord, l'offre industrielle occidentale devrait naturellement se caler sur les logiques russe et israélienne, à savoir des systèmes de missiles de courte, moyenne voire longue portée de différents niveaux de sophistication et de coût afin de fournir des solutions en mesure de couvrir **le milieu du spectre élargi des menaces aériennes, des G-RAMM type roquettes lourdes aux aéronefs**, au-delà des drones déjà mentionnés. L'étoffement des défenses ne va donc probablement pas concerner uniquement le segment C-UAS courte portée.

Ensuite, dans le haut du spectre, l'évolution des performances est rendue nécessaire par la nécessité de **neutraliser les armements à haute vitesse manœuvrant, en premier lieu les armes hypersoniques**. Il n'existe pour l'instant aucun missile en mesure de le faire. Les meilleurs candidats sont des évolutions des intercepteurs endoatmosphériques, à commencer par la version *Extended-Range* du THAAD, développée sur fonds propres par Lockheed Martin ou encore le SM-6 de Raytheon. La DARPA a commencé à œuvrer avec Northrop-Grumman sur son programme « *Glide Breaker* », un système de systèmes dont l'intercepteur représente probablement l'élément phare. **Cette évolution des missiles pourrait passer par l'adoption de statoréacteurs à coût et complexité maîtrisés**, l'utilisation de superstatoréacteur restant encore hypothétique pour ces missions, du moins à court terme. Dans le domaine surface-air, l'utilisation de ces statoréacteurs, dont les principes de base sont bien connus, a eu un temps les faveurs des concepteurs pendant la Guerre froide avec la mise en œuvre de systèmes comme le Talos de la Navy, le SA-4 ou encore le SA-6, mais elle était tombée en désuétude. Or, la maîtrise croissante de l'ingénierie complexe de ces modes de propulsion combinés, des dimensions et des coûts associés en fait désormais une des principales options de développement des missiles actuels air-air (avec le Météor de MBDA) et air-surface comme nous l'avons vu. La société Nammo, spécialisée dans ce domaine, a donc annoncé en 2019 travailler sur un SAM de ce type d'une portée de 400 km, d'une dimension du même ordre que celle de

⁵³ *Ibid.* ; James C. Bussert, « China Destroyer Consolidates Innovations, OtherShip Advances », *Signal Magazine* 1er décembre 2013.

l'AMRAAM⁵⁴. La grande différence avec un engin comme le fameux 40N6 du S-400, atteignant lui aussi ces portées, résiderait dans une phase propulsée bien plus longue, grâce à l'absence d'oxydant qui occupe une large place dans les missiles actuels à propulsion solide. Ce faisant, alors qu'à longue portée le 40N6 poursuit sur son inertie et ne peut guère menacer que des plates-formes non manœuvrantes, un missile à statoréacteurs étendrait considérablement sa « *no-escape zone* » contre des menaces type chasseur par exemple.

Il convient enfin de mentionner, bien que ce ne soit pas le sujet principal de la présente note, les ruptures à attendre dans le **domaine de l'interception air-air** :

- ➔ La prolifération continue d'avions de chasse toujours plus performants apparaît incertaine. Le F-35 se diffuse mais à un coût prohibitif. Seuls les Chinois entendent suivre au moins partiellement les Américains en mettant en œuvre le J-20 à relativement grande échelle et le J-31. Les Russes ne disposeront que de quelques dizaines de Su-57 Felon et les performances du Su-75 Checkmate destiné à l'exportation restent encore incertaines. Les autres projets équivalents peinent à émerger. On semble atteindre, avec la 5^{ème} génération, en ce qui concerne les plates-formes (non leur système de navigation et d'attaque), une logique de rendement décroissant dans laquelle les hausses de performances deviennent de moins en moins rentables ;
- ➔ Cependant, outre les progrès dans le domaine des capteurs et des systèmes de navigation et d'attaque, d'autres développements capacitaires prolongeront la montée en gamme :
 - ⇒ Il en va ainsi des missiles air-air : propulsion (statoréacteurs, cycles plus complexes, etc.) permettant là aussi d'étendre leur enveloppe de tir efficace, miniaturisation permettant d'augmenter la puissance de feu air-air des chasseurs, renouvellement des procédés de guidage comme le préfigurent les efforts de R&D américains (faudrait-il d'ailleurs une nouvelle catégorie « Fox4 » combinant guidages actif et *network-enabled* ?) ;
 - ⇒ Enfin, là encore, le combat collaboratif, notamment le *Manned-Unmanned teaming*, exploré par les Russes et Chinois avec des UCAV opérant en *loyal wingman* de leurs Su-57 ou J-20, étendant la portée de détection voire d'interception.

⁵⁴ Douglas Barrie, Joseph Dempsey, « Breathing life back into ramjet-powered surface-to-air missiles », *Military Balance Blog*, 7 septembre 2019 – <https://www.iiss.org/blogs/military-balance/2019/09/ramjet-powered-surface-to-air-missiles-comback>

Conclusions : implications pour le SCAF

Lorsque le SCAF sera déployé en unité dans les années 2040, il trouvera donc probablement un environnement de DA qui aura largement évolué, et sera caractérisé par :

- ➔ **Une disparité encore plus importante selon les zones et puissances concernées**, allant des défenses de point par des systèmes courte portée classiques à des SIDAAM beaucoup plus évolués que ceux que nous connaissons aujourd'hui ;
- ➔ Ces derniers, qui correspondraient peut-être à une cinquième catégorie par rapport à notre typologie de départ, disposeraient **d'architectures distribuées** reposant sur une composante veille beaucoup plus dispersée, multimilieux car s'étendant dans l'espace extra-atmosphérique, communiquant directement ses données aux effecteurs, combinant de la GE cognitive, d'ailleurs parfois mise en œuvre par les radars eux-mêmes, des armes à énergie dirigée en défense de point ou encore des missiles SALP à stato/superstatoréacteur en mesure de prendre réellement à partie les avions manœuvrables à plusieurs centaines de kilomètres.

Un tel environnement de combat collaboratif multimilieux incite à mettre l'accent sur plusieurs capacités de SEAD au sein du SCAF.

En ce qui concerne le **New Generation Fighter (NGF)**, le rayon d'action, la connectivité aérospatiale avec des liaisons LPD/LPI et peut-être plus encore la capacité d'emport seraient certainement à privilégier. **La capacité air-air longue portée reste aussi déterminante *in fine*** pour neutraliser les moyens AEW aéroportés adverses. En termes de protection, la furtivité non seulement radar mais aussi IR continuera d'être une exigence certaine. Se pose également la question du renouvellement des capacités d'autoprotection compte tenu de l'évolution des missiles d'interception : mini-missiles défensifs ? Énergie dirigée par HPEM tirant parti de la convergence radar/GE et de dispositifs antennaires AESA différemment répartis ? Lasers (même si les défis technologiques restent en l'état difficilement surmontables pour leur intégration sur une telle plate-forme) ?

Le gros des effets serait obtenu par les munitions et effecteurs déportés du NGWS.

Tout d'abord, les munitions devraient nécessairement inclure **des missiles à très haute vitesse**, dont l'interception restera un défi : non seulement des armes **hypersoniques** à longue portée mais aussi des armes de vitesse **supersonique « haute »**, mises en œuvre à distance *standoff* des défenses de points.

Se pose ensuite la question de la création et du maintien de la double capacité à exercer des **effets de saturation en SEAD** en dépit de la densification des défenses CRAM/CUAS et à **traiter un volume de cibles plus important** : les éléments des architectures radars distribuées mais

aussi les véhicules lanceurs, dont le traitement retrouve de l'intérêt. Cette double capacité reposera prioritairement sur les **effecteurs déportés**.

Plusieurs concepts, non exclusifs, feraient alors sens :

- ➔ Des drones-gigognes disposant d'un rayon d'action de plusieurs centaines de kilomètres, en mesure de délivrer eux-mêmes des mini-drones ou drones-munitions ;
- ➔ Des mini-drones délivrés directement par les NGF et disposant eux-mêmes d'une allonge de centaines de kilomètres ;
- ➔ Ces mini-drones opéreraient seuls ou en réseau à titre de capteurs ISR maraudeurs et/ou d'effecteurs cinétiques et/ou d'effecteurs non cinétiques (attaque électronique par CME ou HPEM, déception par leurrage).

La nécessité d'obtenir des effets de saturation implique également de concevoir **des solutions de délivrement de munitions / mini-drones complémentaires des NGF** dans la mesure où nos forces européennes ne disposent pas de bombardiers. Les caractéristiques attendues du NGF en feront très probablement un appareil très coûteux (suivant en cela, au moins dans le principe, la fameuse loi d'Augustine), donc une denrée rare, de surcroît sollicitée pour de multiples missions. De sorte que l'inventaire de ces NGF peut constituer en réalité le véritable goulet d'étranglement d'une attaque de saturation. Les options, non exclusives, peuvent alors comprendre par exemple :

- ➔ **L'adaptation de plates-formes lourdes** comme l'A400 M en tant que camion à bombes / mini-drones, mais la menace SALP telle qu'elle pourrait se développer, incite à ne pas miser sur ce type de solutions, au moins en début de campagne ;
- ➔ **Des systèmes UAS complets**, ISR / effecteurs directs ou drones-gigognes, comme le font les Américains avec les solutions développées notamment par Kratos (XQ-58).

Intervient ici la question **du C2 de ces drones**. Plusieurs solutions peuvent être envisagées en suivant la typologie de Paul Scharre dans son travail sur les essaims au CNAS⁵⁵ :

- ➔ **La « coordination centralisée »** : un contrôle d'exécution de la mission par le réseau exercé directement par le NGF, nœud d'exécution voire d'autorité de TACOM par délégation du JFACC, selon des modes adaptables, allant du contrôle « *man-in-the-loop* » avec tâches ancillaires automatisées à un contrôle supervisé « *man on the loop* » ;
- ➔ **La « coordination hiérarchique »**. Il peut s'agir d'un contrôle délégué au drone-gigogne, devenant en quelque sorte le « PC avancé » du réseau de drones, relayant et traduisant les ordres du NGF, coordonnant le réseau ;
- ➔ **La « coordination par consensus »** dans laquelle les drones communiquent entre eux pour parvenir de façon autonome à un consensus, voire la « **coordination émergente** », dans laquelle les éléments se coordonnent en fonction du besoin sur un mode presque « rhizomique », se constituant de proche en proche, sans

⁵⁵ Paul Scharre, *Robotics on the Battlefield Part II: The Coming Swarm*, Center for a New American Security, octobre 2014 – https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS_TheComingSwarm_Scharre.pdf?mtime=20160906082059&focal=none

hiérarchie, comme dans un réseau social. On entre ici dans le véritable fonctionnement en essaim. De telles capacités seraient déjà possibles technologiquement si l'on en juge par le programme de R&D de *Golden Horde* de l'USAF, qui développe depuis deux ans les munitions *Networked Collaborative and Autonomous* (NCA)⁵⁶.

Cette vision reste très « verticale ». Il faut l'envisager en complémentarité de **la distribution « horizontale » du contrôle du réseau de drones ou de munitions** entre plates-formes en fonction de la mieux placée pour l'assurer, tout particulièrement dans le cas d'UAV de plusieurs centaines de kilomètres de rayon d'action ou déployés à des centaines de kilomètres de leur plate-forme.

En d'autres termes, il faut peut-être considérer à cet horizon **deux niveaux de réseaux**, lesquels opéreraient néanmoins sur le même *cloud* de combat :

- ➔ **Le réseau classique, « primaire »**, composé du JFACC et des nœuds de C2 / ISR / effecteurs habités ou téléopérés, au sein duquel se délèguent et/ou se distribuent les autorités de contrôle ;
- ➔ **Un réseau ou plusieurs réseaux « secondaires » d'effecteurs déportés** dont le contrôle est assuré par les nœuds du réseau primaire.

Le principe « doctrinalement correct » du *Mission Command*, du commandement par intention ou mission, pousse évidemment vers une logique de décentralisation à des fins de flexibilité tactique, de saisie des opportunités et de résilience face aux menaces cyber-électroniques susceptibles de les isoler de la plate-forme habitée et de réduction de la charge cognitive de l'opérateur humain. Toutefois, tout dépendrait en réalité du niveau d'autonomie décisionnelle des systèmes, du niveau de *situational awareness*, mais aussi des multiples contraintes politiques envisageables. L'équilibre entre ces exigences et ces contraintes incite en réalité à disposer **d'une grande flexibilité et d'une réversibilité dans cette pratique de la décentralisation et de la distribution du contrôle**, pour les deux niveaux de réseau évoqués.

En tout état de cause, la notion « d'équipier fidèle » (*Loyal Wingman*) n'est peut-être pas la plus pertinente pour caractériser ces opérations. Elle convient à l'interaction directe de la plate-forme habitée avec un ou quelques drones associés, ce qui représente le moyen terme, voire avec les drones-gigognes évoqués. Dans le cas du SCAF, à plus long terme, il conviendrait probablement de parler de « **Loyal Team** », voire de « **Loyal Swarm** ».

Ces différentes caractéristiques laissent entrevoir des **besoins contradictoires entre qualité, quantité et résilience**. En effet, ces effecteurs déportés devraient tout à la fois :

- ➔ Être disponibles en grand nombre pour garantir ces effets de saturation, ce qui implique des coûts unitaires réduits et des drones consommables ;
- ➔ Disposer d'algorithmes d'IA suffisants pour garantir l'exigence d'autonomie décisionnelle requise et limiter leurs communications avec les NGF. Tout comme les missiles, ils devraient également disposer des moyens de PNT les extrayant de la dépendance au GNSS et inclure des guidages multimodes et des charges variées, incluant des HPEM et des antennes distribuées de GE ;

⁵⁶ USAF AFRL ; « Golden Horde Colosseum » – <https://afresearchlab.com/technology/vanguards/successstories/golden-horde>

- ➔ Pour maintenir les coûts aussi limités que possible, la solution de drones modulaires apparaîtrait logique mais, en même temps, la maturation probable, voire la prolifération plausible des armes HPEM défensives, incitent inversement à se doter des catégories de drones et de missiles aux *designs* différenciés afin de conserver leur résilience.

La logique voudrait donc que soient développées **plusieurs catégories d'effecteurs déportés**, non pas simplement en fonction de leurs performances mais aussi de leurs niveaux de sophistication. On pourrait ainsi envisager un panachage de drones sophistiqués récupérables, de drones récupérables peu coûteux, enfin de drones modulaires consommables. Cette classification empirique n'est pas forcément assortie d'une catégorie particulière de drones car il est possible d'envisager des drones-gigognes peu coûteux voire consommables servant uniquement à la mise à poste d'essaims, et inversement des mini-drones ou des munitions maraudeuses très sophistiqués mais offrant une flexibilité et une polyvalence d'emploi plus importantes.

Enfin, **le combat M2MC** s'inscrit de façon sous-jacente comme une nécessité de l'entreprise, c'est un truisme. En particulier, le NGWS devrait en effet pouvoir mener un combat intégré avec le milieu cyber permettant aux effecteurs déportés de mener des actions de LIO par intrusion électromagnétique, dans la mesure où les processus de LIO le permettent. Le combat collaboratif connecté devrait en outre être réellement aérospatial, avec des effecteurs déportés et missiles « *network-enabled* » aux données de ciblage actualisées par les constellations spatiales. Enfin, les feux des composantes aérienne, navale et terrestre de nos appareils de force échantillonnaires devront nécessairement intégrer leur effets et actions à un niveau « symbiotique » au niveau tactique, même pour des efforts de SEAD offensive limitée.