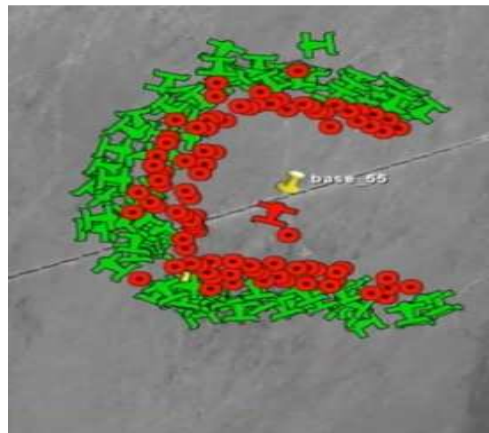




PROMOTION *GÉNÉRAL GALLOIS*  
2016 -2017

**L'Essaim : une solution alternative pour la suppression  
des défenses aériennes**



LCL John V. Bartoli  
L'Armée de l'air des Etats-Unis

Sous la direction de :  
LCL Jérôme de Lespinois  
Docteur en histoire

## Résumé

Pendant l'opération Tempête du désert, les armées de l'air de la coalition ont vaincu le système de défense aérienne intégré (SDAI) irakien. Depuis cette guerre, les constructeurs des systèmes de défense aérienne ont nettement amélioré leurs réseaux de capteurs, leur mobilité, leur chaîne de commandement et de conduite, et l'efficacité de leurs missiles. Par conséquent, les systèmes de défense aérienne sont beaucoup plus létaux. De plus, ces systèmes très performants sont plus largement exportés que par le passé.

Ces facteurs menacent l'efficacité de la puissance aérienne comme instrument coercitif. Pour contrecarrer ces avancées des défenses aériennes, les Etats ayant les moyens (les Etats-Unis, la Chine, la Russie) ont beaucoup investi dans les avions furtifs qui peuvent opérer et survivre dans un environnement aérien contesté par ces SDAI. Le développement et la maintenance sont très coûteux et dépassent les moyens de la plupart des Etats.

En étudiant les cas de combat aérien pendant la guerre du Kippour, la guerre du Viêt-Nam, la bataille de la Bekaa et l'opération Tempête du désert, on peut identifier quatre facteurs importants pour déterminer la capacité d'une armée de l'air à défaire un SDAI : l'effort de l'armée de l'air à défaire le SDAI, le degré d'intégration de la destruction des défenses aériennes avec les autres missions, un entraînement et une préparation spécialisés et l'investissement technologique dans les armes de guerre électronique.

Ce mémoire évalue ces conditions et les effets qu'elles créent. Également, il évalue la pertinence de ces conditions en termes de SDAI avancé. Les quatre effets les plus importants dans le cas d'espèce sont la désorientation du SDAI par la neutralisation de ses capteurs, l'isolation des tireurs de leur commandement, l'interruption des opérations de défense aérienne par des armes de suppression cinétiques et la saturation du SDAI par des cibles nombreuses.

Ce mémoire conclut que la neutralisation totale d'un SDAI avancé est peu probable pour une armée de l'air non équipée d'avions furtifs. Cependant, un essaim de drones *low cost* disposant néanmoins d'une autonomie de plusieurs heures et équipés d'ogives et de capteurs pourrait désorienter et rompre les activités de défense aérienne, permettre d'obtenir une supériorité aérienne locale et temporelle et ainsi permettre un avion de frapper des cibles avec un risque réduit.

## Summary

During Operation Desert Storm, coalition air forces soundly defeated the Iraqi integrated air defense system (IADS). Since the first Gulf War, however, the manufacturers of air defense systems have made significant improvements to their sensor networks, command and control, mobility, and missile performance. As a result, air defense systems are significantly more lethal. Of equal importance, these extremely capable air defense systems are now being exported much more widely than in the past.

These factors threaten the utility of air power as a coercive instrument. To counter the advances in advanced air defense systems, states with vast resources have invested heavily in stealthy aircraft that can survive in an air environment that is contested by lethal air defenses. The development and maintenance of stealthy aircraft is an extremely costly endeavor and is beyond the means of many states.

By studying the historical cases of aerial combat during the Yom Kippur War, Vietnam War, the battle over the Bekaa Valley, and Operation Desert Storm, one can identify four important factors in determining whether or not an air force will defeat an IADS. These factors are the commitment of the air force to defeating the IADS, the degree to which the suppression and destruction of the IADS are integrated with other missions, specialized training and preparation for suppression of air defenses, and technological investment in the weapons of electronic warfare.

This study evaluates these conditions and the effects that they create and assesses their relevance in terms of the advanced air defense system. The four most important effects evident in the case study are the disorientation of the IADS by neutralizing its sensors, isolation of the command elements of the IADS from its shooters in the field, the disruption of air defense operations by kinetic suppression weapons, and the saturation of the IADS with targets.

The study concludes that the total neutralization of an advanced IADS is not probable for an air force that is not equipped with stealthy strike aircraft. However, a swarm of low cost drones with endurance of several hours and equipped with warheads and sensors could disorient and disrupt air defense activities to gain local and temporal air superiority and enable non-stealthy aircraft to strike targets with reduced risk.

## Table de matières

Résumé.....	2
Summary.....	3
Introduction.....	5
<b>Presentation et définition du sujet.....</b>	<b>5</b>
<b>Etat de la question.....</b>	<b>5</b>
<b>Méthode employée .....</b>	<b>5</b>
<b>Difficultés rencontrées .....</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre 1 - Le SDAI: à la fois prédateur et proie .....</b>	<b>7</b>
<b>La Lutte pour la supériorité aérienne.....</b>	<b>7</b>
<b>Le Plan .....</b>	<b>8</b>
<b>Le SDAI.....</b>	<b>9</b>
<b>La Suppression des Défenses Aériennes Ennemies.....</b>	<b>11</b>
<b>La Guerre du Kippour .....</b>	<b>12</b>
<b>La Bataille de la Bekaa.....</b>	<b>14</b>
<b>L'Opération <i>Linebacker II</i> .....</b>	<b>13</b>
<b>L'Opération <i>El Dorado Canyon</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>L'Opération Tempête du désert .....</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre 2 - La menace posée par le SDAI avancé.....</b>	<b>22</b>
<b>Les capteurs.....</b>	<b>22</b>
<b>Le C2 .....</b>	<b>24</b>
<b>Les armes .....</b>	<b>24</b>
<b>La mobilité et les contre-mesures .....</b>	<b>25</b>
<b>Chapitre 3. Comment à préserver l'avantage offensif.....</b>	<b>28</b>
<b>L'influence du Colonel John Boyd.....</b>	<b>28</b>
<b>Les effets de SEAD sur le SDAI.....</b>	<b>29</b>
<b>L'Eblouissement du SDAI.....</b>	<b>29</b>
<b>La neutralisation du C2.....</b>	<b>30</b>
<b>Le Harcelement physique du SDAI.....</b>	<b>30</b>
<b>La Saturation des SDAI par des cibles nombreuses.....</b>	<b>32</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>34</b>
<b>Douhet contre Corbett.....</b>	<b>34</b>
<b>L'Essaim .....</b>	<b>35</b>

## **Introduction**

### **Présentation et définition du sujet**

J'ai choisi pour sujet la possibilité pour qu'une armée de l'air non équipée d'aéronefs furtifs puisse établir la supériorité aérienne face à un système de défense aérienne intégré (SDAI) avancé, et pour continuer l'étude de tels systèmes comme facteur de dissuasion conventionnelle. J'ai commencé l'analyse de cette question à l'Ecole des études aériennes et spatiales avancées de l'Armée de l'air américaine en 2010. J'ai constaté que la problématique de ces avions furtifs, comme étant la seule solution aux SDAI modernes, malgré le fait que ces aéronefs soient très chers pour certains pays qui doivent faire face à ces défenses.

### **Etat de la question**

Toute solution commune au SDAI avancé semble s'appuyer sur des aéronefs furtifs ou des armes furtifs. Tous deux sont très coûteux. A cause de la létalité des SDAI modernes, toutes les contre-mesures contre eux exigent une solution, soit furtive, soit non pilotée. Les experts évoquent toujours les drones, mais uniquement dans le cadre du renseignement ou des opérations anti-insurrectionnelles. Le bon type de drone, ou plus précisément un essaim de drones, a fort potentiel pour devenir une arme très efficace contre la menace SDAI.

### **Méthode employée**

La méthode a été d'analyser des études de cas du combat aérien et d'identifier les facteurs qui ont existé quand l'armée de l'air a dépassé le SDAI et leurs fondements théoriques. Ensuite, j'ai recherché des articles scientifiques sur les technologies d'essaim et de drone. Puis, j'ai appliqué les théories du Colonel John Boyd et de Julian Corbett au concept de la supériorité aérienne et l'effet d'un essaim de drones que peut avoir sur le SDAI moderne.

### **Difficultés rencontrées**

Il est difficile de trouver de l'information non classifiée sur les systèmes spécifiques du SDAI moderne. Bien que nous puissions en parler en termes généraux, la recherche sur les dé-

fenses aériennes exige inévitablement une étude des systèmes existants pour l'analyse factuelle. De plus, l'essaim de drone est un concept qui est encore à l'état embryonnaire. Le soutien technique nécessaire pour prouver l'efficacité d'un essaim de drone qui n'existe pas encore contre des systèmes défensifs jamais rencontrés au combat, n'existe pas. Ainsi, toute discussion sur ce sujet très technique restera plutôt théorique.

## Chapitre 1 - Le SDAI: à la fois prédateur et proie

### La Lutte pour la supériorité aérienne

La puissance aérienne coercitive reste un des outils préférés des gouvernements occidentaux pendant le 21<sup>e</sup> siècle. Ses avantages sont clairs. Tout d'abord, elle permet à un gouvernement de projeter rapidement son influence par une action militaire à une distance importante. De plus, l'emploi de la puissance aérienne est une action très élastique, permettant la récupération quasiment immédiate des forces et un retour à une position opérationnelle normale. En outre, plusieurs chefs d'Etat perçoivent, avec raison, que le risque de la projection de force par une série limitée de frappes aériennes ponctuelles est moins susceptible de perte ou échec qu'une attaque terrestre.<sup>1</sup> Dans notre présente étude, les implications du dernier point sont les plus importants.

Les apparentes économies et commodité de la puissance aérienne coercitive reposent sur la supposition des pertes nulles ou minimales. Politiquement, un chef d'Etat peut revendiquer le succès d'une mission lorsque les pilotes sont retournés à leur base en toute sécurité, quel que soit l'effet tactique. En revanche, excepté dans un cas d'impératif national, une frappe aérienne ponctuelle pendant laquelle quelques avions ou leurs équipages sont perdus sera considérée comme un échec politique, quel que soit l'efficacité tactique. Si la létalité des SDAI fait douter un chef d'Etat que son armée de l'air ne pourrait pas effectuer ces opérations sans subir des pertes non négligeables, il est peu probable qu'il risquerait ses avions et équipages pour une opération coercitive.

Pourquoi est-ce pertinent ? Jusqu'à récemment, les composants de SDAI le plus couramment exportés étaient des systèmes, souvent fixes, équipés de radars analogiques et de missiles, peu manœuvrables, normalement de courte-portée et dont les lanceurs peuvent être survolés par des avions volant à grande vitesse et basse altitude. Ces systèmes sont des technologies d'années 1960 et 1970. Leurs radars sont facilement détectés, brouillés par les avions de chasse et bombardiers et pris pour cible par des missiles antiradiations. Dans une bataille entre une patrouille d'attaque composée d'avions de chasse modernes et ces SDAI, les avantages tactique et opératif sont massivement du côté des avions attaquants. Cependant, depuis

---

<sup>1</sup> Dans *Arms and Influence*, Thomas C. Schelling définit la coercition comme l'utilisation de la violence latente pour exploiter les besoins et peurs d'un ennemi, influençant ainsi ses comportements. Son concept de coercition inclut une coercition offensive, qu'il appelle "compellence," ou la contrainte, et une coercition défensive, que nous appelons la dissuasion. Le stratège américain Robert Pape utilise le terme "coercion," ou coercition, de manière synonyme avec Schelling's "contraint" dans son livre majeur *Bombing to Win*. Pour ce mémoire, nous utilisons la définition de Pape pour "coercition."

les années 1990, la Russie exporte des systèmes de missile sol-air beaucoup plus avancés.<sup>2</sup> Ces systèmes ont inversé les rôles. Avant l'Opération Tempête du Désert, ces systèmes comme la famille de missiles sol-air S-300 étaient situés en Russie ou les pays de l'ancienne Union soviétique. Aujourd'hui ils ont été exportés dans 13 pays, notamment l'Iran, le Venezuela et la Chine, rendant la menace bien plus pertinente.<sup>3</sup>

Que peut faire une armée de l'air contre cette menace ? Pour les grandes puissances mondiales, la solution réside dans les avions furtifs. Les États-Unis sont les meneurs mondiaux dans le développement et l'utilisation de la technologie furtive. Plusieurs alliés des États-Unis achèteront le F-35, l'avion furtif américain le plus récent. Par conséquent, les avions furtifs se propagent. La Russie et la Chine développent leurs propres avions de chasse furtifs. Pourtant, cette solution est très chère. Le coût unitaire d'un F-22 est de 143 millions de dollars US,<sup>4</sup> celui du F-35 entre 98 et 114 millions de dollars US en fonction de la version.<sup>5</sup> Le B-2 bombardier furtif coûte plus de 1 milliard de dollars US. Pour la grande majorité des armées de l'air, de tels avions sont inaccessibles financièrement.

## **Le Plan**

Quelle est la solution pour une armée de l'air équipée d'avions non furtifs ? Peut-être que la solution permettant à des avions tels que le Rafale ou le Mirage de lutter contre un SDAI moderne existe déjà mais nécessite des mises à jour pour conserver l'efficacité de l'avion. Nous explorerons l'utilisation des essaims de drones comme la contremesure des SDAI avancés. Pour l'explorer, nous considérerons l'évolution du SDAI, surtout dans les domaines des capteurs, de la mobilité, de l'autodéfense, et des intercepteurs. En suite, nous examinerons des adaptations théoriques de la supériorité aérienne face à la prolifération des SDAI avancés et la fusion de l'emploi des drones et la théorie de la guerre chaoplexique. Afin de tester ces idées, nous explorerons les exemples historiques de la guerre de Yom Kippur, le conflit de la vallée de la Bekaa, et l'Opération Tempête du Désert. Considérant le potentiel de l'essaim de drones pour neutraliser un SDAI moderne, nous évaluerons les genres et le mélange de capteurs qui rendraient l'essaim de drones aussi efficace que possible face au SDAI, quelques

---

<sup>2</sup> "S-300PMU / SA-N-6 / SA-10 Grumble," [GlobalSecurity.org](http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/s-300pmu.htm).  
<http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/s-300pmu.htm> Accédé le 6 novembre 2016.

<sup>3</sup> "S-300," IHS Jane's Land Warfare Platforms : Artillery & Air Defence 2016-17, London: Janes Publishing Company, 2016, p. 572

<sup>4</sup> "F-22 Raptor," Fiche d'informations, USAF.  
<http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104506/f-22-raptor.aspx> Accédé le 6 novembre 2016.

<sup>5</sup> "Producing, Operating and Supporting a 5th Generation Fighter," Lockheed Martin.  
<https://www.f35.com/about/fast-facts/cost> Accédé le 6 novembre 2016.

méthodes pour saturer, attaquer et supprimer un SDAI par le déploiement massif d'essaims de drones. Finalement, nous considérerons le coût d'une telle stratégie.

## **Le SDAI**

La prolifération des SDAI avancés menace la capacité des armées de l'air occidentales de gagner et maintenir la supériorité aérienne. Puisque la supériorité aérienne est un préalable pour la réussite des opérations militaires, un SDAI puissant met en péril l'efficacité d'une armée de l'air comme instrument coercitif. Manifestement, un SDAI est une réponse asymétrique à la puissance aérienne offensive, surtout dans le contexte des armées de l'air occidentales. En d'autres mots, il n'est pas forcément nécessaire de développer de meilleurs avions de chasse ou de former de meilleurs pilotes pour se défendre contre un adversaire qui possède une armée de l'air. Le SDAI présente est une autre option. En combinant un tableau de capteurs avec des armes sur terre et dans l'air et les liant ensuite avec un système C2 robuste, un Etat peut dégrader la capacité d'un adversaire d'exploiter la vitesse, la flexibilité et si nous croyons Douhet, la nature offensive inhérente de la puissance aérienne.

Pour profiter de ces avantages, une armée de l'air doit gagner et maintenir la supériorité aérienne. En France, le Centre interarmées de concepts, de doctrines, et d'expérimentations (CICDE) définit la supériorité aérienne comme la "situation qui autorise la conduite d'opérations terrestres, maritimes et aériennes pendant une période donnée et à un endroit donné sans opposition majeure mettant en cause la réussite des opérations."<sup>6</sup> La définition américaine équivalent, selon le Joint Publication 1-02, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms* est très similaire, la définissant comme "ce degré de dominance dans la bataille aérienne par une force sur une autre qui permet la conduite d'opérations par la première et ses forces terrestre, maritime, et aérienne associées pendant une période donnée et à un endroit donné sans interférence prohibitive de la part de la force opposante."<sup>7</sup> Cette idée d'interférence prohibitive est importante. Pour vaincre une armée de l'air attaquante, il n'est pas nécessaire que le SDAI détruise tous les avions. Au contraire, il faut simplement priver l'armée de l'air attaquante du contrôle de l'air pendant une bataille ou rendre le contrôle de l'air trop cher à gagner. Essentiellement, un SDAI puissant peut dissuader un attaquant en créant une perception de risque qui lui serait insupportable.

---

<sup>6</sup> CICDE. *Glossaire interarmées de terminologie opérationnelle, DC-004 GIATO*. Juin 2015. 142.

<sup>7</sup> Joint Publication 1-02, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, 12 April 2001, 21.

Prochainement, nous examinerons les composantes du SDAI et la synergie qui profite aux Etats qui intègrent leurs capteurs, communications et systèmes d'armes. Ensuite nous étudierons le principe de la suppression des défenses aériennes ennemies et des certaines études de cas pour déterminer les facteurs qui font pencher la balance en faveur du SDAI ou de la puissance aérienne offensive. Ces études de cas portent sur la guerre du Kippour en 1973, la guerre du Liban en 1982, l'Opération Eldorado Canyon en 1986, l'Opération Linebacker II pendant la guerre de Vietnam, et la destruction du SDAI irakien pendant La Tempête du Désert.

Fondamentalement, qu'est-ce qu'un SDAI? C'est un système de systèmes, cela veut dire, un ensemble de capteurs, armes et systèmes interdépendants de commandement et de conduite. Les capteurs du SDAI se composent des capteurs actifs et passifs dont les plus importants, divers, et omniprésents sont les radars. Le SDAI met en œuvre des radars qui exécutent des fonctions différentes, tels que la détection lointaine, l'acquisition et la poursuite de cible, le guidage de missile et le contrôle d'avions de chasse. Chacune de ces fonctions exige une grande variété dans la transmission des ondes, la dimension et forme du radial et le traitement des signaux.<sup>8</sup> Par ailleurs, les capteurs passifs n'émettent pas de signaux; ils agissent plutôt comme des récepteurs des émissions des cibles. Les types de capteur passif les plus pertinents pour un SDAI sont les capteurs électroniques et les capteurs infrarouges. Tous ces capteurs fournissent les données au SDAI afin de détecter, localiser, suivre et identifier une cible.

Si les capteurs sont les yeux du SDAI, les systèmes d'armes sont les crocs. La détection de la cible est essentielle, mais cela ne sert à rien sans la capacité de la détruire. Donc, le SDAI est équipé d'un réseau d'armes, principalement des missiles sol-air et des missiles air-air portés par des avions de chasse.<sup>9</sup> Au centre de notre étude, se trouvent les missiles sol-air. Le missile sol-air est une excellente solution pour établir une défense à approche en profondeur. Il est plus persistant que des patrouilles d'avions de chasse. De plus, il peut être regroupé en masse autour d'un centre vital ou disposé en bandes défensives sur un axe d'attaque probable, sans la problématique du carburant qui limite l'autonomie de l'avion de chasse.<sup>10</sup> Ces groupes et bandes défensives peuvent mélanger des modèles différents, équipés de radars qui émettent des fréquences différentes et des missiles qui utilisent des intercepteurs

---

<sup>8</sup> Air Combat Command, *Electronic Warfare Fundamentals*, 8-10.

<sup>9</sup> Elsam, M.B. *Air Defence* London: Brassey's Maxwell Pergamon Publishing, 1989, p. 36.

<sup>10</sup> Ibid, 57.

de caractéristiques différentes. Un mélange de missiles longue portée et haute altitude et de missiles courte portée plus maniable pose un problème très compliqué à une armée de l'air attaquante. Il y aurait plusieurs fréquences à brouiller, de nombreux sites à prendre pour cible ou éluder, sans un sanctuaire à altitude haute ou basse.

La structure de commandement et de conduite constitue le système nerveux central du SDAI. Il fusionne les données des capteurs pour créer une image consolidée et lie tous les éléments du SDAI, du commandant aux tireurs dans l'espace de bataille. Le C2 rend le SDAI plus productif que ses composantes additionnées, en transformant les nombreuses unités en un réseau légal d'information et d'armes. Manifestement, ce système nerveux central est un réseau de communications, numériques et vocales, qui permet au commandant de la défense aérienne de concentrer des atouts dispersés au même endroit et en même temps. Un tel système peut accélérer la cadence d'engagement au profit des défenseurs et réduire le risque de fratricide.

### **La Suppression des Défenses Aériennes Ennemies**

Pour neutraliser le SDAI, les armées de l'air du monde effectuent des activités de neutralisation des défenses aériennes, en anglais le *Suppression of Enemy Air Defenses* (SEAD). Ces activités comprennent le brouillage radar et radio-communication, le ciblage de radars par des missiles anti-radar, la saturation de capteurs et de C2 par leurres, et la destruction directe par bombardement.<sup>11</sup> Historiquement, la réussite des opérations de neutralisation des défenses aériennes réussies exige l'entretien de hautes compétences techniques et tactiques des équipages, une grande attention pendant la planification de l'opération, un très haut niveau d'intégration dans l'opération elle-même, et des investissements lourds dans les technologies idoines. Surtout, la clé de la victoire est l'engagement profond dans la neutralisation du SDAI.<sup>12</sup> L'histoire des combats aériens modernes est pleine d'exemples de catastrophe quand une armée de l'air attaque, sans la préparation suffisante ou l'engagement assez fort, un ennemi protégé par un SDAI puissant. Ces exemples incluent l'expérience israélienne pendant la guerre de Yom Kippur<sup>13</sup> ou les pertes subies par la flotte américaine de B-52 pendant la guerre du Vietnam.<sup>14</sup> Il y a également des exemples de réussites quand les forces aériennes

---

<sup>11</sup> James R. Brungess. *Setting the Context: Suppression of Enemy Air Defenses and Joint War Fighting in an Uncertain World* (Maxwell Air Force Base, AL: Air University Press, 1994), 16.

<sup>12</sup> Ibid, 22.

<sup>13</sup> Greenhouse, Brerton. "The Israeli Experience." *Case Studies in the Achievement of Air Superiority*. Edité par Benjamin Franklin Cooling. Washington DC: Bureau des publications du gouvernement US 1991. P. 601.

<sup>14</sup> Brungess, 9.

se sont bien préparées et engagées pour battre le SDAI : ainsi la bataille au-dessus de la vallée de la Bekaa en 1982 pendant la guerre de Liban, l'Opération Eldorado Canyon et l'Opération Tempête du Désert.

### **La Guerre du Kippour**

Pendant la guerre du Kippour en 1973, l'armée de l'air israélienne a retenu la leçon douloureuse qu'un SDAI peut faire pencher la balance du côté défensif. Les Israéliens ont perdu environ 150 avions face aux missiles sol-air et à l'artillerie anti-aérienne égyptiens et syriens pendant les premiers trois jours de la guerre. Ces pertes israéliennes ont représenté un quart de leur force de combat. L'armée de l'air israélienne était mal préparée pour le SA-6 (nommé GAINFUL par l'OTAN), un nouveau système de missile sol-air soviétique, et son radar de poursuite de cible, le Straight Flush. Ce radar était indétectable par l'équipement de détection électronique passive ou missiles anti-radar.<sup>15</sup>

Heureusement pour les Israéliens, ils ont conservé de l'armée israélienne la supériorité aérienne dans la plus grande partie de leur espace aérien. Dans le périmètre de portée de leurs missiles sol-air, les Arabes ont privé les Israéliens de l'accès au ciel et, par conséquent, d'appui aérien rapproché aux forces terrestres (en anglais "Close Air Support," ou CAS). Cependant, les pilotes israéliens ont privé les armées de l'air arabes d'accès à l'espace de bataille au-delà de la portée des défenses aériennes arabes, grâce à leurs compétences supérieures. Hors du rayon d'action des missiles sol-air arabes, les Israéliens ont infligé un lourd bilan: 456 avions arabes abattus. En outre, ils ont détruit ou épuisé 27 des 36 batteries de missiles syriennes sur le Plateau du Golan, mais à un coût très élevé pour leur armée de l'air.

Donc, l'armée de l'air israélienne a survécu à cette guerre, malgré sa mauvaise préparation pour un SDAI avancé. Avant cette guerre, la guerre électronique était une considération secondaire pour les Israéliens. L'entraînement des pilotes sur SEAD était minimal. L'effort de SEAD n'était pas intégré dans les planifications. En fait, il était presque totalement négligé, effectué au coup par coup par certains équipages qui étaient spécialisés dans des autres disciplines. Surtout, les Israéliens n'étaient pas préparés aux nouveaux SA-6. Les opérateurs de SA-6 syriens ont manqué de performance et de discipline de feu, accordant aux Israéliens le sursis dont ils avaient besoin pour gagner cette guerre. Le lancement dispendieux de missiles en direction des avions israéliens a rapidement épuisé les stocks, et le réapprovisionnement a été insuffisamment rapide pour rendre les batteries SA-6 opérationnelles. La victoire n'était pas loin. D'après Hanoah Bartov, le biographe du chef d'état-major israélien David Elazar, a

---

<sup>15</sup> Ibid. 16.

conclu "...si nous laissons de nouveau passer quatre à cinq jours d'effritement avant que la contre-attaque commence, l'armée de l'air peut atteindre sa ligne rouge."<sup>16</sup>

### **L'Opération *Linebacker II***

A l'instar de l'expérience israélienne, la guerre du Vietnam a été comme un jeu du chat et de la souris entre le SDAI et l'armée de l'air qui a penché d'un bord et de l'autre, avec différentes combinaisons tactiques et techniques accordant un avantage temporaire à un côté avant qu'un contre-mouvement ne renverse la situation. Plus tôt dans la guerre, le C2 amélioré nord-vietnamien a intégré des radars soviétiques plus sophistiqués, des capteurs passifs, des communications, des avions de chasse, des SAM et AAA. Cette augmentation de l'efficacité du SDAI a réduit le taux de victoires américain pour le combat air-air de 2,2 pour 1 à 2 pour 1,5 et même inférieur à 1 pour 1 sur certaines courtes périodes.<sup>17</sup> L'Amérique a répondu en améliorant les tactiques intégrées, avions SEAD spécialisés, techniques de brouillage, munitions guidées de précision (PGM) et les missiles antiradiation. Les forces américaines ont repris la supériorité aérienne, ouvrant la voie aux B-52 du Strategic Air Command (SAC) tant vantés pour forcer les Vietnamiens à négocier.

Pendant cette guerre, l'opération aérienne de 11 jours en décembre 1972, connue sous le nom de *Linebacker II*, a vu les puissants bombardiers B-52 du SAC rejoindre la mêlée. Le SAC était la principale force américaine pendant la Guerre froide, maintenant une armada de bombardiers nucléaires et de missiles balistiques intercontinentaux (ICBM) dotés d'une arme nucléaire, prêts à faire pleuvoir l'enfer nucléaire sur l'Union soviétique. Cependant, le SAC n'était pas une force habituée à mener des opérations tactiques dans un environnement de jungle.

Les B-52s possédaient une capacité de guerre électronique et des équipages qui avaient éprouvé leur aptitude à livrer des armes nucléaires sur des cibles situées au plus profond de l'Union soviétique. Malheureusement, leur capacité de guerre électronique a été conçue pour se protéger de systèmes spécifiques, mais pas pour contrer les défenses aériennes intégrées. De plus, la mission de bombardement stratégique faisait que les B-52 étaient aguerris pour pénétrer sans escorte dans l'espace aérien soviétique. Ils ne s'entraînaient pas à opérer dans le cadre d'une attaque aérienne intégrée. En conséquence, il était très difficile pour eux de faire face au formidable SDAI nord-vietnamien. À cause de mauvaises tactiques, d'équipages mal

---

<sup>16</sup> Greenhous, 603.

<sup>17</sup> Ibid., 15.

préparés et pourtant trop confiants et l'incapacité d'intégrer les acteurs tactiques du SEAD aux bombardiers stratégiques, 11 B-52 ont été abatus par des missiles sol-air vietnamiens.<sup>18</sup>

Face à de telles pertes, les planificateurs aériens américains ont adopté le même plan que les planificateurs israéliens ont utilisé une décennie plus tard dans la vallée de la Bekaa. Ils ont fait de la destruction du SDAI nord-vietnamien une priorité pour ouvrir la voie aux B-52 et obliger à l'adversaire à retourner à la table de négociation. Les résultats de l'intégration des actifs tactiques SEAD avec les B-52 ont été surprenants. En avril 1973, les Etats-Unis ont lancé une série de frappes par B-52 contre le Nord-Vietnam. Pendant cette période, des patrouilles intégrées d'avions de supériorité aérienne et d'actifs SEAD ont escorté les bombardiers. Une patrouille de soutien type contenait huit chasseurs antiaériens, dix avions SEAD, quatre brouilleurs pour aveugler les radars nord-vietnamiens, et vingt aéronefs assurant un énorme corridor des paillettes pour cacher l'approche des bombardiers. Les frappes ont visé des installations pétrolières et des aérodromes militaires et infligé des dégâts relativement modestes. L'impact psychologique sur l'armée nord-vietnamienne, cependant, a été profond. "Ils étaient choqués par l'inefficacité de leurs défenses. Les défenseurs aériens ne savaient même pas que les B-52 avaient été dans la force d'attaque jusqu'au lendemain, quand une équipe du quartier général de la Défense aérienne ... a analysé les cratères des bombes." Une fois que le SDAI nord-vietnamien a été rompu, il a fallu trois jours pour que les Nord-Vietnamiens retournent aux négociations.<sup>19</sup> La leçon clé de l'Opération *Linebacker II* est la nécessité d'intégrer les actifs qui doivent attaquer une cible protégée par un SDAI et un plein engagement dans l'attaque du SDAI lui-même.

### **La Bataille de la Bekaa**

Force est de constater qu'Israël a tenu compte des leçons de la Guerre du Kippour. Son action en 1982 pendant la bataille de la vallée de la Bekaa en est la preuve. Pendant les 10 jours de cette bataille, les Israéliens ont écrasé 20 sites SAM syriens, y compris des SA-2s, SA-3s, SA-6s, et SA-8s.<sup>20</sup> Israël a perdu seulement deux aéronefs, dont un ciblé par un SA-6. L'autre a été abattu par un système sol-air non-identifié. Les Israéliens avaient la suprématie du ciel en affichant un taux de pertes de 0 pour 87 avions arabes abattus.<sup>21</sup>

---

<sup>18</sup> Ibid., 9.

<sup>19</sup> Randolph, Stephen P. *Powerful and Brutal Weapons*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 2007, 121.

<sup>20</sup> Brungess, *Setting the Context*, 17.

<sup>21</sup> Greenhous, "The Israeli Experience," 601.

La raison de ce renversement de situation découle d'un profond changement doctrinal. Pendant la guerre du Liban, la destruction du SDAI dans la vallée de la Bekaa était la priorité absolue. Les forces israéliennes se sont entraînées de manière exhaustive à détruire le SDAI et ont intégré la SEAD en profondeur à d'autres missions telles que l'interdiction et la supériorité aérienne. Kelly H. Burke, Lieutenant-Général à la retraite, ancien sous-chef d'état-major de l'armée de l'air des États-Unis pour la recherche, de développement et d'acquisitions d'armes a dit que la bataille de la vallée de la Bekaa "a été la guerre de l'avenir...une guerre dans laquelle le combat électronique est un thème central et dominant, avec des drones pour décevoir et saturer le SDAI, des missiles antiradiations améliorés, et le brouillage intensif des radars et des radiocommunications syriens."<sup>22</sup>

Israël a créé un plan complexe en trois phases pour détruire le SDAI syrien. La première phase a utilisé des leurres, des brouilleurs et des feintes sur plusieurs axes pour confondre et saturer le SDAI. La deuxième phase a consisté en un harcèlement et un engagement cinétique mineur de certains sites pour augmenter la pression sur le système. Enfin, la troisième phase a été la destruction pure et simple des sites SDAI. Des erreurs syriennes ont aidé la préparation israélienne : en plaçant leurs systèmes mobiles dans des emplacements fixes, ils ont facilité le ciblage. De plus, la phase de déception a incité les Syriens à engager leurs avions de chasse contre les feintes. Le C2 syrien a été rapidement submergé par la combinaison des feintes, des fausses cibles, des drones et du brouillage. Les avions de chasse syriens se sont fourvoyés dans des embuscades en poursuivant de fausses cibles dans des zones vulnérables aux attaques air-air, les Israéliens brouillant leurs communications GCI. Ceux-ci Israéliens ont alors abattu les aéronefs, soudainement abandonnés et très dépendants de GCI. Dans la première heure, le SDAI de la vallée de la Bekaa a été décisivement mis hors d'état de nuire.<sup>23</sup>

### **L'Opération *El Dorado Canyon***

Le raid d'avril 1986 contre la Libye par les forces américaines représente une évolution des tactiques d'attaque cinétique directe employées par les planificateurs américains et israéliens au Vietnam et au Liban. Il y a deux raisons pour lesquelles l'évolution constatée dans le concours SEAD-SDAI dans l'opération *El Dorado* est remarquable. La première raison est un facteur politique qui contribue à expliquer en partie pourquoi les dirigeants américains ont favorisé la puissance aérienne comme un instrument coercitif. L'amère expérience de la guerre du Vietnam a créé un objectif tacite du combat américain pour éviter des pertes.

---

<sup>22</sup> Brungess, *Setting the Context*, 16.

<sup>23</sup> *Ibid.*, 22.

L'Armée de l'air américaine a honoré cet objectif en développant des capacités SEAD robustes qui protègent bien ses forces tactiques face à un SDAI puissant.<sup>24</sup>

La deuxième raison est que ce raid a été l'exemple le plus clair de SEAD interarmées. Il s'agissait d'un effort délibéré pour intégrer les capacités de l'Armée de l'air et de la Marine contre un impressionnant SDAI qui comprenait des équipements soviétiques et occidentaux. Bien que n'ayant pas la plus formidable SAM soviétique du jour (le S-300) le SDAI libyen était composé de SA-2, SA-3, SA-6, SA-8, ainsi que du Crotale, un système létal de courte-portée français.<sup>25</sup> De plus, les radars de détection lointaine et de recherche de surface navale qui pouvaient détecter et guider les armes libyennes en ciblant les aéronefs américains étaient d'origines soviétique, allemande, britannique et française. En intégrant les atouts de l'Armée de l'air et de la Marine, les Américains pouvaient maximiser la couverture de brouillage du réseau libyen EW. En outre, ce plan a fait le meilleur usage du nombre limité de missiles anti-radar disponibles pour la frappe.

Les Libyens, cependant, avaient appris leurs propres leçons de la vallée de la Bekaa et ont construit un SDAI avec une structure technique pour contrer les forces américaines. Après tout, l'équipement israélien SEAD et les tactiques ayant eu un effet dévastateur au Liban étaient d'origine américaine. Pour construire leur SDAI, les Libyens ont construit un réseau de détection lointaine dense dans lequel la perte d'un seul radar EW ne créerait pas d'écart. En outre, ils ont utilisé des systèmes performants qui utilisaient un ensemble diversifié de fréquences nécessitant pour un attaquant de répartir la puissance de brouillage sur une large bande du spectre électromagnétique et rendant difficile de concentrer le pouvoir de brouillage pour aveugler la détection lointaine libyenne. La diversité des systèmes a également compliqué le système de brouillage d'auto-protection d'une force d'attaque en raison d'une variété de formes d'onde. Enfin, les Libyens ont utilisé de multiples liaisons radio ainsi que des lignes terrestres durcies pour redondance afin d'atténuer la possibilité qu'un ennemi décapite sa structure de commandement.<sup>26</sup>

Le plan SEAD interarmées était davantage basé sur le brouillage des radars libyens que sur le bombardement des sites missiles, bien que la Marine ait effectivement bombardé des sites de radars pour permettre l'attaque de Benghazi. En concentrant la capacité de brouillage sur les radars de détection lointaine, le raid américain stimulerait le SDAI, obligeant les SAM

---

<sup>24</sup> Brungess, *Setting the Context*, 28.

<sup>25</sup> Stanik, Joseph T. *El Dorado Canyon*. Annapolis, Maryland: Naval Institute Press, 2003, 184.

<sup>26</sup> Brungess, *Setting the Context*, 28.

à activer les radars et les rendant plus sensibles aux missiles anti-radar américains. Les avions attaquants se sont approchés à très basse altitude pour retarder la détection par les radars libyens, puis ont commencé à bloquer les radars tout en lançant une grêle de missiles anti-radar sur des sites SAM connus. Le plan SEAD a été dévastateur. Les radars libyens ne pouvaient pas détecter de cibles, retardant les décisions de lancement, car le SDAI libyen avait le gros défaut d'un contrôle et une exécution hautement centralisés. Les missiles antiradiation ont atteint de nombreux radars, créant des écarts dans le SDAI. Les défenses libyennes ont lancé de nombreux projectiles pour contrer le raid, mais la plupart étaient sans guide et totalement inefficaces. Les Américains ont perdu un seul avion, un F-111 abattu par un système sol-air indéterminé.<sup>27</sup>

Les résultats inégaux de la lutte SEAD-IADS pendant cette opération ont été le résultat des excellentes planifications et exécution par les attaquants et également de quelques graves défauts dans le SDAI libyen. De toute évidence, les Américains ont effectivement intégré leurs forces de la Marine et de l'armée de l'air pour faire sauter des trous dans le mur électronique de la Libye et permettre le raid. L'armée américaine a investi massivement dans le missile anti-radar à haute vitesse, le AGM-88 (HARM) et dans des équipements de brouillage sophistiqués qui ont dépassé les capteurs et les armes libyens. Toutefois, la défaite de le SDAI libyen est surtout le résultat d'une mauvaise maîtrise de la part des pilotes de défense aérienne, des opérateurs AAA et SAM et de C2. Le SDAI hautement centralisé ne pouvait pas réagir assez rapidement à la perte de sa couverture de détection lointaine et les opérateurs SAM n'ont pas pris d'initiative ou opéré de façon autonome.

### **L'Opération Tempête du désert**

Notre dernier exemple est la destruction du SDAI irakien au cours de l'opération Tempête du désert. Rétrospectivement, on peut dire que les forces de la coalition ont surclassé les forces irakiennes. Pourtant, l'armée irakienne était tenue en haute estime par les planificateurs de la coalition. Nombreuse, aguerrie, et volontaire, elle a soulevé l'inquiétude aux États-Unis, une nation qui était encore sensible aux cicatrices émotionnelles de la guerre du Vietnam. Dans cet esprit, les planificateurs américains pensaient que la coalition perdrait entre 115 et 140 aéronefs pendant la guerre. Le premier volume du Gulf War Airpower Survey indique que "les planificateurs de la campagne aérienne ont besoin de supériorité aérienne pour plusieurs raisons. Premièrement, les opérations aériennes visant à éliminer le SDAI ira-

---

<sup>27</sup> Stanik, *El Dorado Canyon*, 190.

kien et rendre son armée de l'air inefficace sont essentielles avant que les avions de la coalition puissent attaquer les centres de gravité avec de faibles pertes.”<sup>28</sup>

La crainte de subir des pertes horribles a créé un impératif majeur pour les armées de l'air de la coalition : éliminer le SDAI irakien aussitôt que possible. De cette manière, les forces terrestres de la coalition bénéficieraient directement de la supériorité aérienne. Les planificateurs aériens ont supposé que les forces de Saddam ne pourraient pas suivre les mouvements de la coalition par la reconnaissance aérienne si la coalition contrôlait le ciel. Par ailleurs, même si les forces irakiennes étaient conscientes de la manœuvre légendaire de gauche de Schwarzkopf, la puissance aérienne ne pourrait écraser les forces en se redéployant pour faire face à l'avance de la coalition. En outre, la supériorité aérienne a empêché les pilotes d'attaque au sol de l'armée de l'air irakienne d'interférer dans le plan de manœuvre de la force terrestre de la coalition.<sup>29</sup>

Dans un discours de septembre 1991, le commandant de la composante aérienne de la coalition, le Général Charles Horner décrit comment son groupe de planification a désigné deux catégories de cibles spécifiques pour vaincre le SDAI irakien : la défense aérienne stratégique et les aérodromes. Dans la première catégorie, ils ont inclus des cibles telles que centres de commandement et de contrôle, nœuds de communication et radars pour, selon les termes de Horner, “provoquer le maximum de choc et de violence contre les défenses aériennes ennemies.”<sup>30</sup> Le plan SEAD prévoyait la création des conditions pour des opérations aériennes avec peu de risque à une altitude de 3.000 à 13.000 mètres. Plus probablement, les planificateurs ont souhaité un accès sans entrave au ciel irakien au-dessus de 7 000 mètres, qui est l'action maximale de la plupart des systèmes de missiles IR et AAA.

La stratégie pour battre le SDAI De l'Irak émanait à l'origine du plan *Instant Thunder* du Colonel John Warden. Ce plan visait à étouffer le SDAI au lieu de le détruire entièrement. La suppression du SDAI comprenait la perturbation et la dégradation du système par le lancement de missiles antiradiation et du brouillage. De plus, le plan exigeait la destruction des pistes aériennes pour empêcher le décollage des avions irakiens. Au lieu de la destruction massive du SDAI, les planificateurs voulaient le déséquilibrer, en le privant d'informations provenant de ses capteurs EW et en dégradant la capacité du commandement à prendre des décisions et à transmettre ses ordres aux unités subordonnées. Ils ont cru que la séquence des

---

<sup>28</sup> Gulf War Air Power Survey, vol. 1, Operations and Effectiveness, part 1, Operations, (Washington DC: US Government Printing Office, 1993), 82.

<sup>29</sup> GWAPS, Vol.2, partie 1, 53.

<sup>30</sup> GWAPS, Vol.1, partie 1, 151.

frappes aériennes pourraient avoir un impact significatif sur le succès de l'opération aérienne et ont décidé de cibler les défenses aériennes d'abord.<sup>31</sup>

Le plan a prévu que les F-4G *Wild Weasels*, les EA-6B *Prowlers* et les EF-111 *Ravens* suppriment les sites SAM par le brouillage des radars et un déluge de missiles antiradiation, tandis que les F-117 furtifs, sans le soutien SEAD, frappent des cibles au sein des défenses SAM groupées à Baghdad.<sup>32</sup> Les Américains ont cru à l'époque que les F-117 opéraient plus efficacement sans soutien, puisque le SEAD ou la présence d'escorte de chasse ne serviraient qu'à avertir les défenses aériennes d'une attaque imminente. Au lieu de cela, les F-117 ont profité de leur furtivité pour approcher leurs cibles sans être détectés par les défenseurs. L'impact de leurs bombes guidées par laser serait le premier indicateur fiable de leur présence.

L'effort consacré à la suppression du SDAI a été important, en cohérence avec les leçons du *Linebacker II* et de la vallée de la Bekaa. 48% des cibles devant être frappées le premier jour de la guerre étaient des composantes du SDAI.<sup>33</sup> En outre, 43% des cibles du deuxième jour de la guerre étaient des composantes du SDAI. Très significativement, 70% des cibles considérées comme assez importantes pour être frappées deux fois pendant les deux premiers jours de la guerre était liée au SDAI.

Les premiers coups de feu de la guerre ont été tirés le 17 janvier 1991 contre les radars de détection lointains irakiens. Parallèlement, les EF-111 ont commencé à brouiller d'autres capteurs et les F-117 ont fait voler en éclat leurs cibles à Baghdad. De plus, une trentaine de missiles de croisières *Tomahawks* ont été tirés sur le SDAI. Ces actions avaient deux objectifs. Premièrement, ils visaient à rendre hors service certains nœuds clés du SDAI. Deuxièmement, ils avaient pour objectif de stimuler le SDAI pour que le deuxième stade de l'attaque puisse l'écrouler. Ce stade a inclus deux autres grands regroupements d'aéronefs consacrés à la suppression du SDAI. Ces regroupements, ou *strike packages*, ont profité des craintes irakiennes d'un bombardement massif pour isoler le régime des forces sur le champ de bataille. Cette perception a été renforcée par la détection par radar des avions de la coalition se rassemblant au sud de la frontière entre l'Arabie Saoudite et l'Irak. Le *strike package* qui a attaqué depuis l'ouest composé de 3 EA-6B *Prowlers* pour le brouillage à distance, 3 F-14 *Tomcats* pour les escorter, 10 F/A-18 *Hornets*, 2 A-6 *Intruders* et 7 A-7 *Corsairs* pour

---

<sup>31</sup> Ibid., 123.

<sup>32</sup> Ibid., 155.

<sup>33</sup> Ibid., 187.

lancer des missiles anitradiation *HARMs*. Quatre autres A-6s et 4 GR-1 Tornados britanniques les ont aidés en attaquant la base aérienne d'Al Taqaddum. En outre, 4 *Intruders* supplémentaires ont lancé des leurres aériens (*tactical air-launched decoys* ou *TALDs*) pour submerger et confondre le SDAI. Le deuxième *strike package* était composé de 12 F-4G *Wild Weasels* pour lancer des *HARM*, et de plusieurs EF-111 brouilleurs pour cibler les défenses aériennes au sud de Bagdad. Un EC-130H *Compass Call*, brouilleur de radiocommunications, a soutenu ce deuxième *strike package*. Tous ces aéronefs ont créé une inondation d'activité sur les écrans des opérateurs SEAD. Cette stimulation intense a généré la radiation constante des capteurs irakiens. Les drones *TALDs* ont focalisé une grande attention de la part des radars d'acquisition et de poursuite irakiens. En somme, les deux groupes SEAD ont lancé une pluie de *HARM*, 67 au total, contre le SDAI. Un bilan précis n'est pas disponible, mais les renseignements de la coalition ont confirmé qu' "un nombre important de radars aurait cessé de fonctionner dès l'approche des *HARM*." INSERT FOOTNOTE Lorsque les forces SEAD ont martelé les défenses irakiennes, les F-15 *Eagles* et les F-14 *Tomcats* ont facilement pris la supériorité aérienne. Après les premières 48 heures, les composantes du SDAI n'ont plus fonctionné de manière cohérente. Une seule petite partie du SDAI au cœur de Bagdad pouvait fonctionner efficacement. La bataille du ciel fut une véritable déroute pour l'Irak.

Ces exemples historiques révèlent une tendance à contrecarrer chaque nouveauté à qui est plutôt commun à l'innovation militaire à travers le temps. Comme nous l'avons vu, la puissance aérienne est sortie victorieuse de ces batailles. Cependant, dans certains cas, un SDAI redoutable a infligé des pertes importantes aux armées de l'air. Même quand les armées de l'air ont vaincu le SDAI opposant, la menace des pertes prohibitives ont exigé un investissement intense dans la technologie SEAD et un véritable effort dans le développement de la doctrine, les tactiques et l'entraînement d'équipages pour battre le SDAI.

Dans le contexte actuel, il faut se demander si les armées de l'air occidentales peuvent endurer les pertes subies par les Israéliens pendant la guerre du Kippour ou par le SAC au début de l'Opération *Linebacker II*. La tolérance des Etats occidentaux aux pertes dépend des enjeux. Les Israéliens étaient engagés dans une guerre de survie, donc ils étaient prêts à payer n'importe quel prix pour gagner. En revanche, au Vietnam, les Américains ne défendaient pas des enjeux vitaux mais des intérêts de puissance. Les équipages de bombardiers ont mal calculé la menace posée par le SDAI vietnamien. Cependant, si les Etats-Unis avaient retiré les B-52s après les premières pertes, cela aurait nui à la crédibilité du SAC. Une telle perte de crédibilité aurait été traumatisante pour la population américaine qui pen-

sait à habiter en sécurité grâce au puissant SAC. Heureusement pour les B-52s, l'armée américaine au Vietnam possédait déjà les atouts pour protéger les bombardiers lourds. Elle s'est adaptée à la situation, a appliqué les leçons apprises par leurs forces aériennes tactiques, s'est engagée dans la destruction du SDAI vietnamien et a forcé les Vietnamiens à reprendre les négociations.

Si les armées de l'air d'antan pouvaient autre fois endurer de lourdes pertes, il fait peu de doute que les pays occidentaux puissent tolérer un tel bilan aujourd'hui. Tout d'abord, nos armées de l'air occidentales ont effectivement investi dans le SEAD et dans les avions eux-mêmes qui sont beaucoup plus efficaces, mais en conséquence bien plus chers. L'exigence à développer des aéronefs tellement perfectionnés découle de la nécessité à minimiser, sinon éliminer les pertes au combat. En outre, les armées de l'air sont plus petites que dans le passé, donc chaque perte potentielle est encore plus significative.

Les développeurs des armes de défense aérienne ont beaucoup appris des réussites aériennes et des échecs des défenses aériennes depuis l'opération Tempête du désert. Ils ont à fond étudié les avantages des armées de l'air dans le domaine SEAD et les ont systématiquement sapés. Leurs avancées menacent de décaler l'équilibre en faveur du défensif.

## Chapitre 2 - La menace posée par le SDAI avancé

Le SDAI est le principal moyen par lequel une nation se défend contre une force aérienne. Depuis la guerre du Vietnam, il semble que les armées de l'air jouissent d'un avantage écrasant. La victoire américaine dans l'opération Tempête du désert reste l'exemple contemporain le plus frappant de la dominance de l'armée de l'air moderne face au SDAI robuste. Toutefois, comme nous l'observons dans l'introduction le SDAI moderne a évolué et pose actuellement une menace plus significative pour l'armée de l'air. En examinant les relations entre la puissance aérienne et l'ombrelle défensive en électrons et feu chargé de la repousser, nous traiterons les composantes du SDAI et ses avancées depuis le Tempête du désert. Ces avancées comprennent l'amélioration de leurs propres capacités à détecter et abattre les avions ainsi que leur capacité à se cacher, se défendre, éluder et contrecarrer les efforts d'une armée de l'air visant à les supprimer ou les détruire.

### Les capteurs

Depuis Tempête du désert, la technologie du SDAI s'est améliorée les trois domaines des capteurs, des C2 et des armes. Le perfectionnement dans chaque champ d'application est impressionnant et la somme des avancées pose un ensemble de problèmes qui peut invalider de grandes parties de la doctrine SEAD existante. Les avancées relatives aux technologies de capteurs a rendu, de bien des façons, la neutralisation des radars beaucoup plus difficile. Trois avancées sont les plus importantes: la forme d'onde de certains nouveaux radars de détection lointaine, le radar à balayage électronique, et le traitement numérique des signaux.

De nouveaux radars de détection lointaine émettent des formes d'ondes de très basses fréquences. Une telle forme d'ondes est significative pour trois raisons. Premièrement, les longues ondes radioélectriques contrent intrinsèquement la technologie furtive. Ces ondes créent de la résonance avec les grosses sections du fuselage d'aéronef quelles que soient ses formes.<sup>34</sup> Des radars d'alerte avancée russes opèrent dans cette bande de fréquence. Deuxièmement, ces radars de très basses fréquences privent d'effet les brouilleurs d'autodéfense.

---

<sup>34</sup> Westra, Arend G. "Radar Versus Stealth: Passive Radar and the Future of US Military Power." *Joint Force Quarterly*, n° 55, 4<sup>e</sup> trimestre 2009: 136-143.

À cause du besoin d'être porté par un avion, ces brouilleurs d'autodéfense doivent être relativement petits. Cette limitation de taille à son tour limite la taille d'onde que le brouilleur peut générer. Une onde de très basse fréquence est, par définition, très grande; trop grande, en fait, pour être produite par un brouilleur portable.<sup>35</sup> Troisièmement, la même limitation de taille rend l'émetteur d'une onde de très basses fréquences difficile à localiser ou trianguler. Donc, la prolifération de tels radars ne dégrade pas uniquement le pilier de la suprématie aérienne américaine résidant dans la technologie furtive, mais aussi la capacité interalliée de SEAD.

Les avancées aussi impressionnantes des radars de poursuite de cible et de guidage de missile fragilisent encore l'efficacité des moyens SEAD. Ces radars avancés de poursuite et de guidage, que nous appelons les radars de menace directe, sont extrêmement résistants au brouillage. Ils sont "agiles en fréquence," décalant leur fréquence caractérisée par leur impulsion. La majorité de ces radars est équipée d'antenne de balayage électronique et d'ordinateurs qui traitent leurs signaux numériquement. Une antenne de balayage électronique émet un grand nombre de faisceaux radars à la fois, et peut surveiller des volumes importants du ciel très rapidement. Un autre avantage de ce type de radar et sa capacité à effectuer tous les fonctionnements de radars d'acquisition de cible, de poursuite de cible et de guidage de missile parallèlement. En conséquence, même si un avion pris pour cible peut brouiller avec succès un faisceau radar ou éluder le radar pendant quelques instants, le système de missiles peut maintenir le contact avec un faisceau d'une fréquence différente émis simultanément. La combinaison du balayage électronique et du traitement de signaux numériques masque les propriétés de la forme d'onde qui sont mesurées plus facilement dans les systèmes de missiles sol-air traditionnels.<sup>36</sup> Ceci rend la détection, l'identification, la localisation, et le brouillage de ces systèmes très difficile. Par conséquent, ces systèmes profitent d'un certain degré d'immunité contre les missiles antiradar et les brouilleurs à distance et d'autodéfense.<sup>37</sup>

Aux défis de la suppression des défenses aériennes modernes s'ajoutent les portées accrues de ces radars et de leurs missiles associés. Cela pose un double problème pour les

---

<sup>35</sup> Kopp, Carlo. "Surviving the Modern IADS." *Air Power Australia*. Février 2009, [http://www. au-sairpower.net/APA-2009-02.html](http://www.au-sairpower.net/APA-2009-02.html)

<sup>36</sup> Lieutenant Colonel Michael Pietrucha, réserviste de l'Armée de l'Air des États-Unis, navigateur de F-4G, membre de l'équipe de planifications et analyse d'après frappe de l'Operation Allied Force, en consultation avec auteur, 23 mars 2010.

<sup>37</sup> Kopp, "Surviving the Modern IADS."

forces SEAD. D'abord, la puissance de sortie du radar qui est nécessaire pour guider la portée augmentée du missile rend le radar d'engagement plus difficile à brouiller. De plus, les nouveaux systèmes de missiles sol-air comme les S-300 ou les S-400 sont équipés de missiles capables de toucher une cible à une distance de 190 km, dépassant la portée effective des brouilleurs, privant ainsi l'aéronef de son autoprotection électronique.<sup>38</sup> Donc, ces nouveaux capteurs sont par nature plus difficiles à inhiber.

## **Le C2**

Comme les radars du SDAI, ses systèmes C2 se sont améliorés et contribuent à la défense et à l'efficacité des SDAI avancés. De nouveaux systèmes russes profitent des liaisons de données et réseaux sans fil entre les échelons du SDAI et ses tireurs et capteurs autopropulsés. Ces nouvelles avancées minimisent la radiation de communication entre les composantes du SDAI, en augmentant la vitesse de coopération et le volume d'information partagé parmi toutes les parties du système. Donc, ces nouveaux systèmes minimisent la signature électronique du SDAI, rendant les composantes plus difficiles à localiser les aéronefs attaquants plus vulnérables à la détection et l'engagement par le SDAI.<sup>39</sup>

## **Les armes**

Bien que les capteurs et liens C2 soient nettement plus efficaces que leurs prédécesseurs, cela ne sert à rien si ces missiles peuvent être déjoués par leurs cibles. En fait, les avancées des intercepteurs sont plus impressionnantes que ceux des capteurs et communications. Les missiles lancés par le S-300, par exemple, sont extrêmement efficaces. Ils peuvent supporter des forces d'accélération et de manœuvre égales à 60 fois la force de gravité. La manœuvre d'évitement exigée pour vaincre ces missiles dépasse largement les limites humaines.<sup>40</sup> De plus, certaines de ces missiles sont équipés des ogives à fragmentation directionnelle qui augmentent le rayon de létalité du missile par le déchargement de sa mitraille directement à la cible, au lieu d'éclater et de disperser sphériquement la mitraille.<sup>41</sup> De surcroît, Agat, le constructeur de missiles sol-air russe, a expérimenté différents types de guidage de missile et de têtes chercheuses en couplant des capteurs infrarouges, des radars actifs et des capteurs passifs (qui se dirigent vers les signaux radar de la cible).<sup>42</sup> Ces caractéristiques, combinées

---

<sup>38</sup> Ibid.

<sup>39</sup> GlobalSecurity.org. "S-300 Tactical and Technical Performance." <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/s-300-list.htm>. Accédé le 1 octobre 2016.

<sup>40</sup> Ibid.

<sup>41</sup> Ibid.

<sup>42</sup> Kopp, "Surviving the Modern IADS."

aux vitesses maximales de mach 6, accordent à chaque missile une probabilité de succès de 90%. En tirant une salve de missiles, un opérateur de missile sol-air augmente nettement ce pourcentage.<sup>43</sup>

### **La mobilité et les contre-mesures**

La capacité de SEAD est une de deux méthodes pour gagner en liberté d'action face un SDAI. L'autre option est la destruction du SDAI, ou (DEAD). Malheureusement, les composantes du SDAI avancé sont également intrinsèquement plus difficiles à détruire. Il y a trois facteurs qui fusionnent pour frustrer davantage la liberté d'action face à un SDAI avancé. Ces facteurs sont les grandes avancées dans la mobilité des composantes, les leurres réalistes et les systèmes défensifs qui protègent les systèmes défensifs primaires. Le facteur le plus important pour la survie des composantes du SDAI est leur mobilité. La famille du S-300 peut réaliser en 5 minutes la transition du transport et le lancement d'un missile. Ces systèmes peuvent se déplacer encore 5 minutes plus tard.<sup>44</sup> Cette mobilité pose un problème grave pour les armées de l'air occidentales. Les systèmes eux-mêmes sont tellement efficaces qu'approcher pour larguer une bombe et cibler avec une arme tirée à distance exige des renseignements très précis et actualisés. Le SAM peut se déplacer facilement en même temps qu'un *strike package* peut identifier le SAM, le localiser, traiter ses données, se mettre en position, et toucher le SAM avec une arme. Un SAM peut s'échapper aux dommages causés par un missile en approche s'il s'éloigne de 200 mètres du point d'impact.<sup>45</sup>

La difficulté de toucher une composante du SDAI est aggravée par l'envoi sur le terrain de leurres réalistes. Bien évidemment, chaque arme qui touche un leurre laisse un arme réelle sur le champ de bataille qui peut encore abattre un avion attaquant. Les systèmes sont aussi équipés de leurres qui émettent des signaux radios en simulant les SAM. Leurs ondes sont difficiles à distinguer de vraies émissions de radar. Ils existent d'autres leurres gonflables renforcés par des sources de chaleur, distributeurs de paillettes, et machines à fumée pour confondre les capteurs optiques, les infrarouges et les radars.<sup>46</sup> Par conséquent, il est difficile de localiser ces systèmes avec un degré de précision permettant le lancement des munitions.

Le troisième facteur qui complique encore les opérations DEAD contre ces nouveaux systèmes est le développement de systèmes puissants de contre portée qui défendent les SAM.

---

<sup>43</sup> GlobalSecurity.org. "S-300 Tactical and Technical Performance."

<sup>44</sup> Kopp, Carlo. "Assessing Joint Strike Fighter Defence Penetration Capabilities." *Air Power Australia Analysis*, 7 janvier 2009. <http://www.ousairpower.net/APA-2009-01.html>

<sup>45</sup> Pietrucha, discussion, 23 March 2010.

<sup>46</sup> Kopp, "Surviving the Modern IADS."

Des systèmes russes comme le Torre (appelé SA-15 Gauntlet par OTAN) et le Pantsir-S1(ou SA-22 Greyhound) affichent la capacité d'abattre des munitions tirées en direction des composantes du SDAI. Ces défenseurs des défenseurs sont également équipés de radars à balayage électronique capables de suivre beaucoup de cibles à la fois (les missiles antiradar, missiles croisières, et munitions à guidage de précision).<sup>47</sup> Si l'excellence reconnue des systèmes comme le S-300 est une indication de la capacité du Torre ou du Pantsir-S1, un SDAI ainsi équipé peut nettement réduire la densité des armes entrantes. Par conséquent, une armée de l'air devra lancer beaucoup plus d'armes pour saturer les systèmes qui protègent les tireurs primaires tout en maintenant une quantité d'armes suffisante pour menacer l'efficacité du SDAI.

Ces systèmes changent radicalement le contexte de la lutte entre SEAD et SDAI. Un SDAI moderne composé des systèmes décrits plus tôt dans le présent chapitre, qui peut inclure des chasseurs comme le Su-35 russe, serait capable de contester féroce ment son espace aérien. Actuellement, les contre-mesures disponibles pour les attaquants semblent insuffisantes à atténuer les menaces accrues posées par le SDAI avancé. Les radars à détection lointaine sont de plus en plus difficiles à localiser et brouiller. Ses capteurs alimentent les systèmes C2 avec une image très précise. Le C2 moderne reçoit, traite et diffuse rapidement d'énormes quantités d'informations en créant une image complète et partagée par plusieurs unités. Lorsqu'ils sont alimentés par le système C2, les missiles sol-air peuvent garder leurs radars passifs, restant alors cachés des capteurs passifs de l'attaquant qui les cherche. L'attaquant ne peut pas brouiller les armes sol-air parce qu'il ne peut pas les approcher sans être abattu par les mêmes systèmes qu'il essaie de brouiller. Par ailleurs, même s'il peut approcher suffisamment, il est douteux que le brouillage soit efficace contre les processeurs numériques des signaux de ces systèmes.

De même, les armes tirées à distance sont moins efficaces à cause de la capacité du SAM de délocaliser très rapidement. Même si un avion attaquant peut approcher suffisamment, il ne peut pas être certain d'avoir pris pour cible le bon système. Il se peut que les capteurs de cet avion aient été séduits par un leurre. Et si un avion réussit à se frayer un chemin par le réseau létal et cibler le bon objectif, le missile sol-air reste protégé par ses propres défenses qui peuvent détruire l'arme lancée. C'est le SDAI moderne.

---

<sup>47</sup> Ibid.

Jusqu'au début des années 1990, seules l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques en disposait, mais la Russie a commencé à exporter de ces systèmes.<sup>48</sup> La Chine a ainsi importé le S-300 dans les années 1990. Un peu plus tard, l'Inde a entamé des négociations pour importer le système. A l'époque, l'importation du S-300 à une superpuissance nucléaire comme la Chine n'a perturbé personne. Après tout, le conflit entre puissances nucléaires est extrêmement rare. Donc, la présence d'un système de missiles sol-air dans un pays contre lequel le monde occidental n'a aucun intérêt pour une intervention militaire est une situation avec laquelle l'occidental peut vivre. Cependant, la prolifération de ces systèmes aux pays moins importants est, de façon paradoxale, peut-être, plus inquiétante. Pendant les 30 dernières années, des pays non-nucléaires comme le Kosovo, l'Irak, et la Libye ont été des cibles de frappes aériennes coercitives par les puissances occidentales. Si ces pays possédaient le S-300, la capacité coercitive de la puissance aérienne aurait été diminuée, les risques d'échec auraient été trop grands, et ses opérations n'auraient pas eu lieu.

---

<sup>48</sup> GlobalSecurity.org. "S-300PMU / SA-N-6 SA-10 GRUMBLE."  
<http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/s-300pmu.htm>. Accédé le 1 février 2017.

### Chapitre 3. Comment préserver l'avantage offensif

Pour comprendre comment une armée de l'air peut battre un SDAI avancé, il est important de considérer le problème en termes d'effets. Dans les études de cas présentées, les armées de l'air ont créé certains effets qui ont empêché le fonctionnement efficace du SDAI. Ces effets ont inclus son éblouissement et son isolement par le brouillage ou la destruction des capteurs, sa désorientation par la perte des nœuds de commandement et de conduite, le harcèlement des composantes par des munitions en approche et l'inondation de ses capteurs par cibles nombreuses. Bien que les avancées explorées dans le dernier chapitre rendent la réalisation de ces effets beaucoup plus difficile, le SDAI moderne n'est pas invincible. Il faut évaluer les effets pour prévoir si oui ou non on peut les réaliser par d'autres moyens. Si oui, une armée de l'air peut-elle parvenir ces effets avec un niveau de confiance qui la permet de risquer ses aéronefs et ses équipages contre les systèmes de défense aérienne le plus létaux dans le monde.

#### L'influence du Colonel John Boyd

Globalement, les effets réalisés par le SEAD et le DEAD reflètent la théorie du Colonel John Boyd, le stratège américain. Boyd a fait valoir qu'au niveau stratégique, une armée doit "Pénétrer l'être physique-mental-moral de l'adversaire pour dissoudre sa force morale, désorienter ses images mentales, perturber ses opérations et surcharger son système, ainsi que renverser, briser, saisir ou maîtriser autrement ces bastions, connections ou activités moraux-mentaux-physiques sur lesquels il dépend."<sup>49</sup> Bien qu'il parle ici du niveau stratégique, l'idée de la perturbation des opérations en surchargeant et désorientant une système est essentielle au SEAD au niveau opératif. Les réussites de SEAD explorées dans les chapitres précédents illustrent l'importance de l'orientation des capteurs et de décideurs dans un SDAI. Il a défini "l'orientation" comme : "le 'schwerpunkt. Elle façonne comment nous interagissons avec notre environnement."<sup>50</sup> Boyd redit l'approche d'attaquer un système lorsqu'il a parlé sur la rupture des liens entre les unités tactiques : "Opérer dans les boucles d' observer, orienter, décider, et agir (OODA) pour créer des embrouilles d'événements menaçants et non menaçants ainsi que générer à plusieurs reprises des inadéquations entre les évènements et efforts que l'adversaire observe ou imagine et ceux auxquels il doit réagir pour survivre. Ce qui permet de le piéger dans un monde amorphe, menaçant et imprévisible. Ce monde sera cons-

---

<sup>49</sup> Osinga, Frans P.B. *Science, Strategy and War*. New York: Rutledge, 2007.

<sup>50</sup> Ibid., 94

titué par le doute, la confusion et le désordre. Ce qui permet de forcer l'adversaire au-delà de sa capacité d'adapter ou d'endurer pour qu'il ne puisse pas ni deviner nos intentions ni concentrer ses efforts pour faire face à le déroulement de notre conception."<sup>51</sup> Ces idées du désordre, du doute et de l'incapacité à concentrer ses actions portent sur une attaque contre la capacité d'un adversaire de s'orienter. En privant un adversaire de sa capacité de s'orienter, Boyd dit, les unités "observent, s'orientent, décident, et agissent plus rapidement que l'adversaire. Ce qui permet une armée de gagner l'initiative, pénétrer les vulnérabilités qui se manifestent," au niveau tactique.<sup>52</sup> Le degré de perturbation dans le système ennemi et les avantages décrites par Boyd sont la norme qu'une armée de l'air vise à obtenir contre un SDAI.

### **Les effets de SEAD sur le SDAI**

#### **L'Eblouissement du SDAI**

Dans toutes les études de cas précédemment examinés, l'éblouissement du SDAI est un thème central. Malheureusement, le SDAI actuel a dépassé les systèmes et les techniques qui ont si bien servi les armées de l'air dans les études de cas. Les portées formidables des missiles du SDAI protègent leurs propres capteurs d'être brouillés ou ciblés. Le traitement numérique rend les ordinateurs des SAM difficiles de trompés. Cependant, la technique de brouillage de mémoire de fréquences radio numérique (*digital radio frequency memory* ou DRFM) offre de l'espoir qu'une armée de l'air peut aveugler un SDAI avancé. D'après Mercury Systems, un entrepreneur de la défense américain, un brouilleur de DRFM "reçoit et enregistre la fréquence, la largeur d'impulsion et l'intervalle d'impulsion d'un système adverse et produit un signal qui crée un faux rapport en renvoyant une copie sophistiquée au radar...Ce signal est très polyvalent, furtif, agile et efficace."<sup>53</sup>

Cette technique à beaucoup de potentiel pour battre le traitement de signaux numériques des capteurs avancés. Malheureusement, trois problèmes importants existent encore. D'abord, la portée des missiles sol-air et la puissance des radars peuvent menacer un aéronef piloté portant un brouilleur de DRFM au-delà le rayon d'action du brouilleur. Deuxièmement, tout brouilleur de radar est inefficace contre l'hybridation des têtes chercheuses IR ou électro-optique. Donc un réseau de capteurs multi spectraux menacera encore un aéronef équipé d'un brouilleur de DRFM. Finalement, une percée récente, connue sous le nom de "l'image sécurisée quantique." Les particuliers sont très compliqués, mais cette technique

---

<sup>51</sup> Ibid., 101.

<sup>52</sup> Ibid., 101.

<sup>53</sup> Girard, Tony. "Leveraging Digital RF Memory Electronic Jammers for Modern Deceptive Electronic Attack Systems." Livre Blanc, Mercury Systems, mars 2015.

utilise la polarisation du signal radar comme signature quantique. Il est actuellement impossible de mesurer la direction de polarisation d'un photon sans savoir si l'orientation a été manipulée à l'origine. Donc, si un brouilleur de DRFM enregistre et renvoie un signal radar qui a été son signature quantique manipulée à l'origine, le radar victime saura qu'il est brouillé par une technique de DRFM.<sup>54</sup> Donc, le brouilleur de DRFM protégera un aéronef contre un SDAI puissant. Cependant, la technique DRFM n'élimine pas la menace d'armes sol-air létales. Il réduit simplement marginalement la risque. Donc, bien que le brouillage de DRFM soit une partie de la solution au problème, un aéronef piloté ne peut pas en dépendre exclusivement.

### **La neutralisation du C2**

Dans la bataille de la Bekaa, l'opération El Dorado Canyon, et l'opération Tempête du désert, le brouillage complète la neutralisation des nœuds C2 dans la paralysie du SDAI. Dans ces opérations, ces nœuds étaient vulnérables et accessibles aux armées de l'air opposantes. Comme pour les autres vulnérabilités du SDAI, des Etats ont abordé cette insuffisance. Leur solution est de durcir ou d'enfouir profondément leurs ressources vitales, incluant des tels nœuds C2 et nœuds de communications. La Chine est un bon exemple qui avait investi des montants considérables pour construire des installations souterraines. Le géant asiatique a également construit un réseau de tunnels souterrains 5.000 km de long.<sup>55</sup> Ces cibles sont difficile à localiser et d'accès.<sup>56</sup> De plus, ils sont bien défendus par les mêmes systèmes qui sont le sujet de cette étude. Donc, il est douteux que la destruction physique des nœuds C2 sera un raccourci pour désorienter et détruire un SDAI à l'avenir comme Boyd le décrit. Cependant, il reste possible à attaquer indirectement ces nœuds en attaquant ou en aveuglant les capteurs qui les alimentent ou en les saturant avec des cibles nombreuses.

### **Le Harcelement physique du SDAI**

La troisième incontournable activité de SEAD et DEAD est le harcèlement des composantes du SDAI par des munitions en approche. Au cours des dernières décennies, l'arme primaire pour effectuer cette mission est le missile antiradiation. Un fleuve des tels missiles est un leitmotiv de la bataille de la Bekaa et des opérations *Linebacker II*, *El Dorado Canyon* et *Tempête du désert*. Ces armes ont harcelé leurs cibles sans relâche, privant l'ennemi de la

---

<sup>54</sup> Malik, Mehul, Omar S. Magana-Loaiza, et Robert W. Boyd. "Quantum Secured Imaging." *The Institute of Optics*, University of Rochester, New York, 12 december 2012, p. 6.

<sup>55</sup> Office of the Secretary of Defense, "Annual Report to Congress on Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2011," DoD, USA, 36.

<sup>56</sup> "Munitions for the 2025+ Environment and Force Structure," Etude de Comité consultatif scientifique de USAF, 2011

capacité de surveiller et comprendre l'environnement ou de concentrer ses actions, dans la façon de Boyd. Même si la portée et la mobilité des missiles sol-air modernes dépassent la capacité des missiles antiradation ou des autres munitions existantes d'attaquer un SDAI, l'effet de harceler physiquement un SDAI est essentielle. Le défi est la capacité de l'arme ou du vecteur d'apport de survivre assez longtemps pour rapprocher et conduire sa mission. Un tel vecteur d'apport peut également porter dans son rayon d'action pour augmenter la pression sur le SDAI. Cette tâche est extrêmement hasardeuse pour un avion piloté, sauf des aéronefs furtifs. Cependant elle est faisable si le vecteur d'apport ou l'arme elle-même est un aéronef non piloté.

Le Ministère de la Défense des Etats-Unis a déjà testé un projet qui utilise des drones très petits, connus sous le nom *Perdix*. Le drone a été développé par l'Institut de Technologie du Massachusetts. Chacun pèse 290 grammes et mesure 16 cm de long et 30 cm de large. Ils fonctionnent comme un essaim. Selon M. William Roper du Ministère de la Défense américain, "*Perdix* ne sont pas des individus synchronisés et préprogrammés. Ils sont un organisme collectif, partageant un cerveau distribué pour la prise de décisions et adaptant l'un à l'autre comme des essaims dans la nature. Parce que chaque *Perdix* communique et collabore avec chaque autre *Perdix*, l'essaim n'a aucun leader et peut gracieusement s'adapter quand un drone entre ou part de l'équipe."<sup>57</sup> Bien que les drones *Perdix* soient trop petits pour porter une bombe, un missile, ou une nacelle de brouillage ou de ciblage, le concept a un fort potentiel comme arme contre-SDAI. Le comportement de l'essaim de *Perdix* évoque le concept de la guerre chaoplexique.<sup>58</sup> La technologie clé de la guerre chaoplexique est le réseau composé de unités nombreuses, auto-organisateurs et décentralisées. Ces unités, comme les drones *Perdix*, réagissent et s'adaptent rapidement et efficacement aux stimuli inattendus tels que le lancement d'un missile ou l'activation d'un radar.<sup>59</sup> Ces unités se comportent imprévisiblement et communiquent entre eux pour confondre et saturer leur adversaire.<sup>60</sup> Donc, le développement des essaims de drones a un haut potentiel pour créer les effets déstabilisateur exigés par Boyd.

---

<sup>57</sup> Condliffe, Jamie. "A 100-drone swarm, dropped from jets, plans its own moves," MIT Technology Review, <https://www.technologyreview.com/s/603337/a-100-drone-swarm-dropped-from-jets-plans-its-own-moves/>, janvier 2017.

<sup>58</sup> Bousquet, Antoine. *The Scientific Way of Warfare: Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*. New York: Columbia University Press, 2009, p. 30.

<sup>59</sup> Ibid., 211.

<sup>60</sup> Ibid., 193.

## La Saturation des SDAI par des cibles nombreuses

Le quatrième effet produit qui a empêché le fonctionnement du SDAI dans les études de cas est la saturation des capteurs par des cibles nombreuses. Ce facteur a été particulièrement important pendant l'opération Tempête du désert et la bataille de la Bekaa. Dans ces opérations, les *strike packages* ont inclus des drones pour inonder les SDAI et augmenter la pression sur les opérateurs et décideurs. Cette pression a compliqué les tâches du SDAI. Face à un nombre écrasant de cibles parmi le brouillage et les missiles antiradiation en approche, les capacités des SDAI de s'orienter étaient ralenties. Pendant l'opération *Linebacker II*, le *strike package* a obtenu le même effet par le rejet de paillettes pour retarder la détection des B-52.

Face à un SDAI moderne, une armée de l'air peut réaliser une telle saturation du SDAI, mais pas avec des avions pilotés. Les systèmes de défense aérienne sont trop létaux. Les populations occidentales ne toléreront pas des pertes lourdes. Les aéronefs sont trop coûteux, trop peu nombreux et trop difficile à remplacer. Mais encore une fois, l'aéronef non piloté a un fort potentiel pour obtenir l'effet désiré. La saturation d'un SDAI est une partie d'une stratégie de l'imposition de coût. Bien que la saturation soit très cohérente avec les pensées de Boyd et son évangile de désorientation de l'ennemi, la saturation ne peut pas coûter trop cher. Donc, chaque actif qui inonde le SDAI doit être peu coûteux pour les déployer en nombre suffisant. Si un vecteur d'apport pourrait pénétrer un SDAI et déployer le bon type de drone, une armée de l'air peut reproduire l'effet de saturation comme cela a été démontré dans les études de cas. En tenant compte des avancées du SDAI explorées dans le dernier chapitre, il faudrait que ce vecteur soit plutôt furtif et rapide pour survivre jusqu'à la livraison de sa charge utile. En variante, les drones qui inondent le SDAI peuvent pénétrer l'espace aérien hostile eux-mêmes, mais une telle solution aurait un coût en termes du temps nécessaire pour déploiement et d'autonomie une fois déployé. Bien qu'il y ait des défis, la saturation du SDAI est possible si une armée de l'air investit dans les bons moyens de livraison et de suppression.

Pour résumer, les armées de l'air américaine et israélienne ont vaincu les SDAI ennemis pendant leurs victoires grâce au brouillage et à la destruction des capteurs. La désorientation a causé la perte des nœuds de commandement et de conduite, le harcèlement des composantes par des munitions en approche et l'inondation de ses capteurs par cibles nombreuses pendant leurs victoires aériennes. Contre le SDAI qui emploie un réseau de capteurs modernes de divers types, le brouillage ne peut pas être assuré avec le même degré d'efficacité et de protection pour un *strike package*. De plus, certains pays ont bien caché leurs centres vitaux, y compris les nœuds de C2. Donc, une armée de l'air ne peut pas compter sur sa ca-

pacité d'assommer le SDAI en frappant certains nœuds clés très tôt au combat. Cependant, la technologie existe (ou peut être développée facilement) pour permettre une armée de l'air de désorienter un SDAI avancé par harcèlement physique et par inondation des cibles nombreuses. Nous nous concentrerons sur la réalisation de ces deux effets dans la conclusion.

## Conclusion

Nous avons analysé le SDAI et ses composantes, identifié les conditions nécessaires pour le vaincre, étudié les avancées qui le rendent extrêmement létal et déterminé les effets qu'une armée de l'air doit réaliser pour vaincre un SDAI avancée. L'Armée de l'air américaine a largement investi dans les aéronefs furtifs pour compenser les progrès de la technologie de défense aérienne mais, pour la grande majorité des nations mondiales, un tel investissement est impossible. Néanmoins, la puissance aérienne reste une capacité fondamentale. Elle permet à un Etat de projeter puissance et influence en endossant relativement peu de risque pour peu que la supériorité aérienne lui soit accessible. Pour une armée de l'air puissante, à l'exception de sa vulnérabilité aux SDAI avancées, la clé pour opérer réside dans l'essaim de drones.

### Douhet contre Corbett

Avant d'examiner l'essaim lui-même ou les drones qui le composent, on se doit de se pencher sur deux mises en garde majeures qui s'imposent au concept. Tout d'abord, toute armée de l'air composée des aéronefs non furtifs subira nécessairement des pertes en s'opposant à un SDAI moderne. En effet, il faut se souvenir que la probabilité de réussite d'un seul missile de S-300 face à un avion non furtif est d'environ 90%. Un essaim de drones réduira la probabilité de pertes dans la contestation de l'espace aérien, mais il est fortement improbable qu'il les évitera totalement. Il faut néanmoins accepter l'idée que les méthodes d'attaque contre un SDAI utilisées lors de l'opération du Tempête du désert ne constituent aujourd'hui qu'un stade préliminaire d'une campagne aérienne.

La deuxième mise en garde repose sur le fait que la supériorité aérienne ne pourra s'entendre que de façon très locale et temporaire. Le degré de suprématie dont jouissent les armées de l'air occidentales depuis les années 1980 sera demain impossible à obtenir face aux SDAI avancés. Ces SDAI créent une nouvelle dynamique où une réelle maîtrise de la troisième dimension est quasiment impossible à atteindre, encore moins à conserver. Admettre cet état de fait constitue virage culturel pour l'aviateur. Depuis l'aube de la puissance aérienne, le concept de la maîtrise de l'air est central, voire fondamental et immuable, pour l'aviateur. Le théoricien italien Douhet a mis en lumière la fulgurance de l'arme aérienne en écrivant que « la puissance aérienne frappe soudainement et ne donne aucune opportunité [aux adversaires] pour alerter leurs renforts. »<sup>61</sup>. Dès lors, Douhet a conclu que seule la des-

---

<sup>61</sup> Douhet, Giulio. *Command of the Air*. Édité par Joseph Patrick Harahan et Richard H. Kohn, traduit par Dino Ferrari. Tuscaloosa, Alabama: The University of Alabama, 1942, p. 17

truction de l'arme aérienne de l'ennemi pouvait permettre une vraie maîtrise de l'air en empêchant ainsi « l'ennemi de voler ou d'effectuer toute activité aérienne. »<sup>62</sup> En l'occurrence, cette idée a été parfaitement intégrée dans les planifications pour la bataille de la Bekaa et les opérations Tempête du désert et *El Dorado Canyon*. Dans ces opérations, le but a été de submerger, paralyser, ou détruire totalement le SDAI. Fondamentalement, l'objectif a été de retirer tout SDAI du champ de bataille afin d'en maîtriser la troisième dimension.

Par ailleurs, la contestation permanente du milieu doit être pleinement prise en compte. Le stratège maritime britannique Julian Corbett a écrit : « la position normale est qu'aucune des deux parties n'a le contrôle. La condition normale n'est pas une mer contrôlée. La condition normale est une mer non contrôlée. »<sup>63</sup> Cette logique est illustrative de la lutte entre une arme aérienne, en mesure de pénétrer un espace défendu et y survivre, et un SDAI qui peut se dissimuler, éviter les armes en approche et menacer en permanence les *strike packages*. Les idées de Corbett ne sont ainsi pas inapplicables à la puissance aérienne. Ses théories sur la concentration et la dispersion de la flotte ressemblent au rassemblement du *strike package*, qui est composé de plusieurs types d'aéronefs opérant ensemble durant quelques heures.<sup>64</sup> Donc si les idées de Corbett permettent d'appréhender l'avenir, la caractéristique distinctive des victoires aériennes ne sera plus le contrôle total de l'air sur l'intégralité d'une zone d'opérations : elle se fondera sur la compétition continue pour un accès et un contrôle très local et très temporaire. Dans ces conditions, l'essaim est le meilleur moyen pour gagner l'accès à un espace aérien que, finalement, personne ne contrôle mais tous les acteurs se contestent.

### **L'Essaim**

Le déploiement d'un grand nombre de drones peut submerger un système de défense aérienne et en harceler les composants en vue de réduire les risques pour les opérations d'aéronefs pilotés non furtifs. Cette stratégie exige une flotte de drones relativement peu coûteux et pouvant être engagés dans un essaim. Chaque drone serait équipé d'une ogive et d'une tête chercheuse de quatre types : récepteur radar passif, infrarouge, électro-optique, ou radar à ondes millimétriques. Ces drones assailliront le système de défense aérienne pour le dégrader selon quatre phases incrémentielles. Dans un premier temps, les drones attaquent les composants directement. Dans un deuxième temps, il s'agit essentiellement de perturbation et de harcèlement du SDAI. Ensuite, il est fort probable que les systèmes missiles sol-air s'en

---

<sup>62</sup> Ibid., 19.

<sup>63</sup> Corbett, Julian S. *Some Principles of Maritime Strategy*, London. Naval and Military Press, 1911, p. 19.

<sup>64</sup> Ibid., 129.

prennent aux drones en réponse. Enfin, le nombre de drones augmente considérablement la charge de travail sur le système de défense aérienne et de ses équipages dans la mesure où chaque drone détecté doit être traité par l'équipage, ralentissant les réactions de défense aux aéronefs offensifs.

Concernant les drones eux-mêmes, ils devront disposer d'une autonomie de plusieurs heures de vol, patrouiller, et rentrer à la base s'ils ne trouvent pas de cible. Bien sûr, le drone doit être capable de porter l'ogive et la tête chercheuse. Ces besoins exigent que les drones soient d'une taille au moins comprise entre celle du *Perdix* et celle du Boeing *Insitu ScanEagle*. Le *ScanEagle* offre une autonomie de 22 heures, a une longueur de 1,7 mètres et une envergure de 3,1 mètres.<sup>65</sup> Il est déjà équipé des capteurs mais il faut lui adjoindre une petite charge utile pour mettre des cibles délicates hors service. De plus, le *ScanEagle* coûte moins de 100.000 euros l'unité.<sup>66</sup> Un essaim composé de tels drones effectuera ses opérations selon le principe du *Perdix*, un essaim qui fonctionne comme un organisme collectif avec un cerveau partagé et qui possède les capteurs et les armes pour chasser des missiles sol-air.

Comme le SDAI, l'essaim aura des capteurs, des armes, et un type de C2. Le type d'arme préconisé est l'ogive fragmentaire. Le type de C2 a déjà été examiné : les communications et le cerveau collectif de l'essaim. Cependant, l'équipement de capteurs est un peu plus compliqué. Le SDAI a plusieurs façons de se dissimuler ou de tromper une arme aérienne qui le chasse. Donc, l'essaim doit avoir plusieurs façons pour le débusquer. Comme chaque drone doit être peu coûteux, chacun sera équipée d'un seul capteur. Un quart portera une tête-chercheuse radar pour chercher les signatures radars des composantes du SDAI ; un autre quart portera un capteur IR pour identifier les signatures thermiques, y compris le lancement d'un missile ; un quart de l'essaim sera équipé d'un capteur radar passif, pour chasser les émissions radar des composantes de SAM ; et le dernier quart utilisera un capteur électro-optique pour chasser les unités qui se cachent en restant passives. Un tel ensemble de capteurs portés par un essaim en réseau obère drastiquement la faculté de tout SDAI à se dissimuler.

Ces capteurs permettent à l'essaim d'augmenter la pression sur le SDAI en chassant directement les armes et les capteurs du SDAI. Quand ils détectent une émission électronique ou une signature infrarouge qui correspond à un composant du système, ils l'attaquent et le détruisent. Bien évidemment, chaque batterie de SAM détruite par un drone ne menace plus

---

<sup>65</sup> Barnard Microsystems, "Insitu Group ScanEagle A-15," [http://barnardmicrosystems.com/UAV/uav\\_list/scaneagle.html](http://barnardmicrosystems.com/UAV/uav_list/scaneagle.html)

<sup>66</sup> Ibid.

le *strike package*. A l'échelle du système, l'essaim désoriente le SDAI en retirant ses composantes du champ de bataille. Les cibles les plus importantes sont les capteurs. Il faut rappeler que les capteurs du SDAI sont mis en réseaux. La perte d'un seul capteur a ainsi peu d'effet sur la connaissance de la situation du SDAI. Cependant, lorsque des capteurs sont coupés du réseau, des lacunes dans la couverture apparaissent. En conséquence, la connaissance de la situation et la capacité de réaction du SDAI se dégradent.

La menace portée par l'essaim est réelle. Donc, le SDAI se défendra. Cependant, toutes les mesures prises par le SDAI font le jeu de l'essaim. Les drones restant forceront les systèmes à se déplacer, réduisant leur capacité à se défendre contre les forces aériennes offensives. La mobilité des SAM rend délicat leur ciblage direct, mais les SAM ne peuvent pas opérer leurs radars ni lancer leurs missiles lorsqu'ils se déplacent.<sup>67</sup> De plus, quand les radars du SDAI se déplacent, ils créent des lacunes de couverture de détection. Bien que les SAM évitent les armes en approche, leur déplacement offre des opportunités d'action aux forces aériennes. De la même façon, si les radars s'éteignent pour éviter d'être détectés, ils créent nécessairement des lacunes de détection, ce qui permet la désorientation et déstabilisation du SDAI.

Face à une telle menace, le SDAI sera obligé de se défendre. Encore une fois, le SDAI apporte de l'eau au moulin. Bien qu'un SAM de la classe du S-300 puisse abattre facilement un drone comme un *ScanEagle*, chaque SAM lancé impose un coût net sur les défenseurs. De plus, chaque missile tiré sur un drone est une menace en moins pour un avion. Quand une armée de l'air essaie de frapper un système SAM mobile, elle doit tirer plusieurs missiles pour pénétrer les défenses et couvrir nombreux sites possibles. Cela constitue un problème de densité d'armes. Cela veut dire qu'il est alors très délicat de toucher toutes les cibles avec un nombre d'armes limité. Dans de telles conditions, il est possible de se trouver à court sans obtenir l'effet désiré. Contre l'essaim composé d'une centaine de drones cependant, c'est le SDAI qui est désavantagé en termes de densité d'armes. Par conséquent, le *strike package* peut effectuer sa mission avec moins de risques.

Au niveau stratégique, l'emploi de l'essaim est une stratégie d'imposition de coût. Le SDAI est un moyen très efficace et rentable : il protège son territoire contre l'attaque aérienne et il utilise des missiles relativement peu coûteux en regard des aéronefs ciblés particulièrement onéreux. Par exemple, le prix unitaire d'un seul missile de S-300 est environ 1 million

---

<sup>67</sup> Kopp, "Surviving the Modern IADS."

d'euros<sup>68</sup> ce qui est relativement peu comparativement à un avion de chasse comme le Rafale dont le prix unitaire est d'environ de 74 millions d'euros<sup>69</sup>. En revanche, malgré une attrition probable des drones en attaque d'un SDAI, l'essaim impose un rapport de coûts en défaveur des défenseurs. En effet, la perte d'un missile d'un million euros est insupportable en comparaison de la perte de cent mille euros aux attaquants, surtout quand la bataille contre un essaim suppose le lancement de centaines de missiles.

L'effet combiné de ces trois mécanismes met au jour un quatrième enjeu pour le SDAI : la quintessence selon John Boyd selon laquelle les atouts du SDAI diminuent à mesure que le nombre de cibles à traiter augmente. Le simple nombre de drones, d'aéronefs et d'armes génère une charge de travail considérable, presque insurmontable, de la part des défenseurs. En conséquence, la vitesse d'orientation du SDAI ralentit, tandis que le « cerveau » collectif de l'essaim exécute sa boucle OODA de plus en plus rapidement. Les SDAI vaincus dans la Bekaa, la Libye, et l'Irak se seraient ainsi totalement écroulés, et plus rapidement, face à une telle attaque.

Contre un SDAI moderne disposant de l'ensemble des avantages examinés, un déséquilibre de l'adversaire durant quelques minutes serait le résultat le plus réaliste obtenu en attaque. Cependant, ces quelques minutes peuvent être tout à fait cruciales et déterminantes pour toucher la cible sans pertes lourdes. Cela s'inscrit dans un avenir irrémédiablement Corbettien de la supériorité aérienne.

---

<sup>68</sup> SputnikNews, "Five Questions on Russian S-300 Missile System Sales to Syria," <https://sputniknews.com/analysis/20130514181146715-5-Questions-on-Russian-S-300-Missile-Complex-Sales-to-Syria/>

<sup>69</sup>Le Sénat, <http://www.senat.fr/rap/a13-158-8/a13-158-814.html>.

### **- Références d'archives:**

Cohen, Eliot A et Thomas A. Keaney. Gulf War Air Power Survey. 5 volumes. Washington DC: US Government Printing Office, 1993.

Gertler, Jeremiah. *Air Force Next-Generation Bomber: Background and Issues for Congress*. Congressional Research Service Report. Washington DC: Congressional Research Service, 22 décembre 2009.

Li, Allen. "Electronic Warfare: Option of Upgrading Additional EA-6Bs Could Reduce Risk in Development of EA-18G: GAO-06-446." *GAO Reports*. U.S. Government Accountability Office, 2006.

"Munitions for the 2025+ Environment and Force Structure," Etude de Comité consultatif scientifique de USAF, 2011.

### **- Références bibliographiques:**

Air Combat Command Training Manual. *Electronic Warfare Fundamentals*. Novembre 2000.

Air Force Tactics, Techniques, and Procedures Manual 3-1, 2006.

Axelrod, Robert. *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books, 1984.

Bousquet, Antoine. *The Scientific Way of Warfare: Order and Chaos on the Battlefields of Modernity*. New York: Columbia University Press, 2009.

Brungess, James R. *Setting the Context: Suppression of Enemy Air Defenses and Joint War Fighting in an Uncertain World*. Maxwell Air Force Base, Alabama: Air University Press, 1994.

CICDE. *Glossaire interarmées de terminologie opérationnelle, DC-004 GIATO*. Juin 2015. 142.

Clausewitz, Carl von. *On War*. Édité et traduit par Michael Howard et Peter Paret. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1976.

Clodfelter, Mark. *The Limits of Airpower: The American Bombing of North Vietnam*. Lincoln, Nebraska: The University of Nebraska Press, 2006.

Corbett, Julian S. *Some Principles of Maritime Strategy*, London. Naval and Military Press, 1911.

Douhet, Giulio. *Command of the Air*. Édité par Joseph Patrick Harahan et Richard H. Kohn, traduit par Dino Ferrari. Tuscaloosa, Alabama: The University of Alabama, 1942.

Elsam, M.B. *Air Defence*. Londres: Brassey's Maxwell Pergamon Publishing, 1989.

Gentile, Gian P. *How Effective is Strategic Bombing?* New York: New York University Press, 2001.

Greenhouse, Brerton, "The Israeli Experience." *Case Studies in the Achievement of Air Superiority*. Édité par Benjamin Franklin Cooling. Washington DC: Bureau des publications du gouvernement US 1991.

IHS Jane's Land Warfare Platforms : Artillery & Air Defence 2016-17, London: Janes Publishing Company, 2016.

Jervis, Robert. *Perception and Misperception in International Politics*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1976.

Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms, 12 April 2001.

Joint Publication 3-01, *Countering Air and Missile Threats*, 5 fevrier 2007.

Joint Publication 3-52. *Joint Doctrine for Airspace Control in the Combat Zone*, 30 août 2004.

Keaney, Thomas A. et Eliot A. Cohen. *Revolution in Warfare? Air Power in the Persian Gulf*. Annapolis, Maryland: Naval Institute Press, 1993.

Law, John. "Portuguese Expansion." *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Édité par Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, et Trevor Pinch. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1987.

Lord, Kristin M. "The Perils and Promise of Global Transparency." Albany, New York: State University of New York Press, 2006.

Olsen, John Andreas. *John Warden and the Renaissance of American Air Power*. Washington, DC: Potomac Books, Inc., 2007.

Olsen, John Andreas. *Strategic Air Power in Desert Storm*. Londres: Routledge Taylor and Francis Group, 2003.

Osinga, Frans P.B. *Science, Strategy and War*. New York: Rutledge, 2007.

Overy, Richard J. *The Air War 1939-1945*. Washington DC Potomac Books, 1980.

Pape, Robert A. *Bombing to Win*. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1996.

Randolph, Stephen P. *Powerful and Brutal Weapons*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 2007.

Sagan, Scott D. et Kenneth N. Waltz. *The Spread of Nuclear Weapons: A Debate Renewed*. New York: W.W. Norton and Company, 2003.

Schelling, Thomas C. *Arms and Influence*. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1966.

Stanik, Joseph T. *El Dorado Canyon*. Annapolis, Maryland: Naval Institute Press, 2003.

Waltz, Kenneth N. *Theory of International Politics*. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill, 1979.

Westermann, Edward B. *Flak*. Lawrence, Kansas: University of Kansas Press, 2001.

#### **- Articles scientifiques:**

Condliffe, Jamie. "A 100-drone swarm, dropped from jets, plans its own moves," MIT Technology Review, <https://www.technologyreview.com/s/603337/a-100-drone-swarm-dropped-from-jets-plans-its-own-moves/>, janvier 2017.

Girard, Tony. "Leveraging Digital RF Memory Electronic Jammers for Modern Deceptive Electronic Attack Systems." Livre Blanc, Mercury Systems, mars 2015.

Westra, Arend G. "Radar Versus Stealth: Passive Radar and the Future of US Military Power." *Joint Force Quarterly*, n° 55, 4<sup>e</sup> trimestre 2009: 136-143.

Xudong, Wang. "The Essential Solution for the People's Liberation Army to Defeat F- 22 Raptor: Boost of Systems' Combat Power." *Ordnance Knowledge Magazine*, 12 May 2008.

Hufbauer, Gary Clyde, Jeffrey J. Schott, Kimberly Ann Elliott, et Barbara Oegg. *Economic Sanctions Reconsidered*. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics, 2007.

Fulghum, David A. "Pentagon Jam Up." *Aviation Week & Space Technology*. 164, n°15, 2006.

Laszlo, Zord Gabor. "Secrets of 1999 F-117 Shootdown Revealed." *The Journal of Electronic Defense*, 29, n° 1 (Janvier 2006): 24-26.

Putney, Diane T. *Airpower Advantage: Planning the Gulf War Air Campaign 1989-1991*. Washington, DC: Air Force History and Museums Program, 2004.

Mukherjee, Somnath. "Passive Sensors Using RF Backscatter." *Microwave Journal*, novembre 2004, 96-108.

Fiszer, Michael and Jerzy Gruszczynski. "Castles in the Sky." *Journal of Electronic Defense*, 25, n° 2 (Fevrier 2002): 46-51.

Pape, Robert A. "Air Force Strikes Back." *Security Studies* 7, n° 2 (Winter 1997-1998): 191-214.

Pape, Robert A. "Coercive Airpower in the Vietnam War." *International Security* 15, n° 2 (Automne, 1990): 103-146.

#### **- Articles de presse contemporaine des faits étudiés:**

Ackerman, Michael W. *Future of Airborne Tactical Jamming*. US Navy Report. Accédé le 12 octobre 2016.

#### **- Thèses et travaux universitaires:**

Malik, Mehul, Omar S. Magana-Loaiza, et Robert W. Boyd. "Quantum Secured Imaging." *The Institute of Optics*, University of Rochester, New York, 12 december 2012, p. 6.

Warden, John A. *The Air Campaign*. Research Report. Washington DC: National War College, fevrier 1986.

#### **- Internet**

David, Alon Ben. "Boeing Unveils Silent Eagle." *Jane's Defence Weekly*. 18 mars 2009, [http://www.janes.com/news/defence/systems/jdw/jdw090318\\_1\\_n.shtml](http://www.janes.com/news/defence/systems/jdw/jdw090318_1_n.shtml) Drew, Christopher. "Gates Tries to Get F-35 Program Back on Track." *New York Times*, 3 February 2010, <http://www.nytimes.com/2010/02/03/business/03fighter.html>

GlobalSecurity.org. "S-300PMU / SA-N-6 SA-10 GRUMBLE." <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/s-300pmu.htm>. Accédé le 1 février 2017.

GlobalSecurity.org. "S-300 Tactical and Technical Performance." <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/s-300-list.htm>. Accédé le 1 octobre 2016.

Jane's Land-Based Air Defence, "S-400 Triumph." 21 avril 2010, [http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jlad/jlad0593.htm@current &pageSelected=allJanes&keyword=S-400&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod\\_Name=JLAD&#toclink-j0010230054663](http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/yb/jlad/jlad0593.htm@current &pageSelected=allJanes&keyword=S-400&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JLAD&#toclink-j0010230054663)

Kopp, Carlo. "Assessing Joint Strike Fighter Defence Penetration Capabilities." *Air Power Australia Analysis*, 7 janvier 2009. <http://www.ausairpower.net/APA-2009-01.html>

Kopp, Carlo. "SAM System Mobility: Russian and PLA Air Defence System Vehicles." Technical Report APA-TR-2008-0601, *Air Power Australia*, juin 2008. <http://www.ausairpower.net/APA-SAM-Support-Vehicles.html>

Kopp, Carlo. "Almaz S-300P/PT/PS/PMU1/PMU2, Almaz-Antey S-400 Triumph, SA-10/20/21 Grumble/Gargoyle." Technical Report APA-TR-2006-1201. Mars 2009. [http://www.ausairpower.net/APA-Grumble-Gargoyle.html#mozTocId\\_106894](http://www.ausairpower.net/APA-Grumble-Gargoyle.html#mozTocId_106894)

Kopp, Carlo. "Surviving the Modern IADS." *Air Power Australia*. Février 2009, <http://www.ausairpower.net/APA-2009-02.html>

Le Sénat, <http://www.senat.fr/rap/a13-158-8/a13-158-814.html>.

"L'armée américaine développe des drones saboteurs." *H+ Magazine*. 31 août 2015. <https://humanoides.fr/armee-americaine-developpe-drone-saboteurs>

Miles, Donna. "Gates Touts F-35 as Heart of Future of Combat Tactical Aviation," United States Department of Defense, 31 août 2009. <http://www.defense.gov/news/newsarticle.aspx?id=55684>

Sirak, Michael C. "Not Date Driven," *airforce-magazine.com*, 19 February 2010, <http://www.airforce-magazine.com/Features/modernization/Pages/box021910fraser.aspx>

SputnikNews, "Five Questions on Russian S-300 Missile System Sales to Syria," <https://sputniknews.com/analysis/20130514181146715-5-Questions-on-Russian-S-300-Missile-Complex-Sales-to-Syria/>

United States General Accounting Office. *B-2 Bomber: Cost and Operational Issues*. Letter Report, 14 août 1997, GAO/NSIAD-97-181. Washington DC: General Accounting Office. <http://www.fas.org/man/gao/nsiad97181.htm>.

USAF. "B-2 Spirit." USAF Fact Sheet. <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?id=82>

USAF. "FY 2011 Budget Estimates: Aircraft Procurement, Air Force, Volume 1," February 2010

USAF. "RC-135V/W Rivet Joint." USAF Fact Sheet. <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?fsID=121>

Yue, Tao. "Detection of the B-2 Bomber and a Brief History on Stealth." *The Tech: Online Edition*, 30 novembre 2001, <http://tech.mit.edu/V121/N63/Stealth.63f.html>