

CENTRE D'ÉTUDES STRATÉGIQUES AÉROSPATIALES

La suprématie aérienne en péril

Menaces et contre-stratégies à l'horizon 2030

Corentin BRUSTLEIN

Étienne DE DURAND

Élie TENENBAUM

Préface du général de brigade aérienne Patrice SAUVÉ

Directeur du Centre d'études stratégiques aérospatiales

LA DOCUMENTATION FRANÇAISE

Dans la collection «Stratégie aérospatiale» :

- Jérôme de Lespinois (dir.), *La doctrine des forces aériennes françaises 1912-1976*, 2010.
- Jérôme de Lespinois (dir.), *Politique, défense, puissance : 30 ans d'opérations aériennes*, 2011.
- Robert Pape, *Bombarder pour vaincre*, Jean-Patrice Le Saint (trad.), 2011.
- Camille Grand, Grégory Boutherein (dir.), *Envol 2025*, 2011.
- Hans Ritter, *La guerre aérienne*, Horst Gorlich (trad.), 2013.
- Sebastien Mazoyer, Jérôme de Lespinois, Emmanuel Goffi, Grégory Boutherein et Christophe Pajon, *Les drones aériens : passé, présent et avenir. Approche globale*, 2013.
- Louis Pena, *Cinquante ans d'enseignements pour une doctrine aérienne générale (1949-1999)*, 2014.

Hors collection :

- Patrick Facon, *Histoire de l'armée de l'air*, 2009.

Couverture : Image de Edward L. Cooper, réalisée pour l'armée américaine.

Elle illustre la stratégie déployée dans les années 1980 par l'armée soviétique pour intercepter les avions en haute altitude. Ici, un missile SA-12 attaque un FALCON F-16 américain.

© Defense Intelligence Agency. Edward L. Cooper

«En application de la loi du 11 mars 1957 (article 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992, complétés par la loi du 3 janvier 1995, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans autorisation expresse de l'éditeur. Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre.»

© Direction de l'information légale et administrative, Paris, 2013

ISBN : 978-2-11-009322-6

Stratégie aérospatiale

L'apparition de l'aviation militaire dans les premières années du XX^e siècle a transformé l'art de la guerre. Les opérations qui se déroulaient jusqu'ici à la surface de la terre ou des mers se sont élargies aux espaces aériens et aux étendues spatiales qui les dominent. Ce n'est pas seulement un changement physique – le passage d'une guerre de deux à trois dimensions – mais aussi un changement de nature. Car l'extension des opérations à l'air puis à l'espace permet de jeter la guerre par-dessus les fronts et d'atteindre le cœur du pays ou des enclaves adverses avec ses centres de décision et de production, ses infrastructures vitales, ses zones urbaines et ses populations civiles. Cette transformation apparaît même plus profonde que cette simple extension géographique et cette variation d'échelle. La guerre aérienne ou spatiale constitue, en effet, la matrice d'un changement d'essence du conflit armé qui devient, en moins en moins un affrontement où l'on recherche la destruction ou l'attrition des forces d'un adversaire, mais une guerre où prévaut la recherche de la paralysie stratégique de celui-ci dans le champ militaire mais aussi politique, économique et informationnel.

La collection « Stratégie aérospatiale » a pour ambition de contribuer au renouveau de la pensée stratégique française en publiant des textes à caractère historique ou prospectif, français ou étrangers, relatifs à la dimension stratégique du fait aérien et spatial. Il s'agit de mettre à disposition du public francophone l'œuvre théorique des grands stratèges de l'arme aérienne et spatiale, soit par le moyen de traduction d'ouvrages étrangers, de réimpression de textes devenus indisponibles ou de publication de monographies originales. La collection souhaite aussi participer au soutien des jeunes auteurs et les aider à promouvoir leur réflexion. La collection a encore vocation à publier les actes de colloques ou les textes relatifs à l'emploi de la puissance aérienne et spatiale dans les conflits passés ou actuels. Les ouvrages de la collection s'adressent à un large public, civil ou militaire, composé, en particulier, de décideurs, de chercheurs, d'étudiants, de passionnés et de praticiens.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons tout d'abord exprimer notre gratitude au Centre d'études stratégiques aérospatiales (CESA) de l'armée de l'Air, pour nous avoir donné l'opportunité de conduire cette recherche et pour nous avoir ouvert de nombreuses portes afin de la mener à bien. Nos remerciements vont en particulier à son actuel commandant, le général Patrice Sauvé, ainsi qu'au colonel Olivier Erschens et au lieutenant-colonel Jérôme de Lespinois, sans oublier naturellement le pilote de l'étude, le capitaine Yohan Droit. Qu'ils soient tous remerciés pour leurs suggestions pertinentes et le soutien sans faille manifesté tout au long de ce travail.

De nombreux individus, qu'il s'agisse de collaborateurs au sein de l'Institut français des relations internationales (Ifri) ou d'experts extérieurs à celui-ci, ont apporté leur soutien au cours des douze mois de l'étude. Au sein de l'Ifri, nous avons bénéficié des conseils de Michel Baud, Dominique David, Thomas Gomart, Marc Hecker et Guilhem Penent, et d'une assistance précieuse de la part de Fanny Alarcon, Aurélie Allain, Nicolas Huard et Constance de Roquefeuil.

Nous tenons également à adresser notre reconnaissance à tous les experts – militaires et civils, français ou étrangers – ayant accepté de partager leurs analyses sur les perspectives d'évolution et de contestation de la puissance aérienne.

Enfin les auteurs tiennent à remercier pour leur aide cruciale Hugh Curry (USAFHQ) et Claire Nestier (ambassade de France   Washington), lors de l'organisation du séjour de recherche aux  tats-Unis.

PRÉFACE

AVANTAGE À LA DÉFENSE ?

C'est la question passionnante et provocante que pose l'étude réalisée par Étienne de Durand, Corentin Brustlein et Elie Tenenbaum, chercheurs de l'Institut français des relations internationales (IFRI). Fruit d'une Étude prospective et stratégique (EPS) commandée par l'armée de l'air et pilotée par le Centre d'études stratégiques aérospatiales (CESA), cet ouvrage interroge la pérennité de notre supériorité aérienne dans les futurs engagements militaires face au développement des menaces sol-air et la mise en place de contre-stratégies aériennes.

Comme le rappelle très justement cet ouvrage, l'arme aérienne constitue aujourd'hui l'arme de décision par excellence et tient une place centrale dans nos opérations. Les interventions en Libye ou au Mali en sont les dernières illustrations. Notre supériorité aérienne, aujourd'hui tenue pour acquise par nos décideurs et nos concitoyens, risque d'être fortement contestée et remise en question au cours des prochaines décennies. On ne peut qu'imaginer à quoi ressembleraient nos opérations extérieures sans l'acquisition au préalable de la maîtrise des airs !

Dans un souci de mise en perspective, cette étude prospective s'appuie sur une première partie historique retraçant l'évolution de la contestation de la puissance aérienne depuis la Première Guerre mondiale jusqu'à nos jours. Elle illustre un point sans doute trop souvent passé sous silence : la supériorité aérienne dont les forces occidentales jouissent depuis la fin de la guerre froide, loin d'être la norme, est une exception au regard de l'histoire des conflits !

Dans un deuxième temps, l'équipe de recherche s'intéresse au prolongement dans l'avenir des tendances actuelles à la contestation. Portée d'une part par la réduction du fossé technologique et d'autre part par le croisement des courbes des budgets de défense, une érosion de l'avantage occidental dans le domaine aérien semble se dessiner pour les prochaines décennies. Au-delà du développement purement technique de la menace, cette étude met en avant les différentes contre-stratégies qui pourraient réduire ou annuler notre marge de manœuvre dans ou depuis les airs. Car c'est bien l'association de moyens humains et techniques et d'une volonté qui conduit à établir une stratégie qui produira ses effets.

Face à ce constat, l'étude explore plusieurs pistes afin de pérenniser la supériorité aérienne occidentale. Outre l'investissement dans certains domaines clés, comme la neutralisation des défenses aériennes ennemies (SEAD), la principale conclusion de l'étude est que la réponse ne peut pas et ne doit pas être seulement capacitaire. Un contexte plus exigeant nécessite d'adopter une pensée originale et des solutions novatrices. Comme souvent la réponse repose

en grande partie sur l'agilité intellectuelle et les savoir-faire opérationnels des hommes qui composent les forces armées occidentales.

L'équipe de l'IFRI a fourni un travail remarquable dont la clarté, sur un sujet aussi austère en apparence, n'est pas la moindre des qualités. Je souhaite saluer en outre l'enthousiasme et la rigueur d'une réflexion qui alimentera, j'en suis certain, les travaux de nos états-majors.

Cet ouvrage doit être lu le plus largement possible ; il doit aussi interpellé. Car derrière l'enjeu pour les forces aériennes se dessine l'aptitude de la France à agir, vite et loin, pour protéger ses intérêts. Dans un contexte où l'incapacité de la puissance aérienne deviendrait également l'incapacité de la France à faire prévaloir ses intérêts de puissance, on mesure toute l'importance de cette question.

Général de brigade aérienne Patrice Sauvé
Directeur du Centre d'études stratégiques aérospatiales

*Les experts de la défense doivent s'enfoncer
jusqu'au centre de la Terre. Ceux, au contraire,
qui veulent briller dans l'attaque doivent s'élever
jusqu'au neuvième ciel.*

Sun Tzu, L'Art de la Guerre, article IV

SOMMAIRE

Préface	7
<i>Patrice Sauvé</i>	
Introduction générale : la suprématie aérienne, un présupposé stratégique fragile	13
Chapitre 1	
Approche historique de la contre-stratégie aérienne	19
La naissance de la puissance aérienne et de ses premières formes de contestation (1914-1945)	19
Parades et contre-stratégies aériennes à l'âge du missile (1945-1990)	28
Contester la supériorité aérienne occidentale dans l'après-guerre froide	41
Chapitre 2	
L'horizon des contre-stratégies aériennes	53
Tendances générales de la contestation de la supériorité aérienne	54
Évolution capacitaire de la menace	62
Typologie des contre-stratégies aériennes	120
Chapitre 3	
Pérenniser la supériorité aérienne occidentale	143
Maintenir l'avance occidentale en affrontement symétrique	143
L'avenir des missions SEAD	152
Renforcer la protection des infrastructures	175
Renforcer la résilience des moyens C4ISR face aux menaces avancées	181
Préparer les forces aériennes aux conflits asymétriques	191
Quelle adaptation conceptuelle ?	198
Conclusion générale : érosion de la puissance aérienne et équilibres internationaux	209
Rattrapages technologiques et tactico-opérationnels	209
Redistribution des cartes stratégiques	211
L'Occident endigué ?	212

ANNEXES

Annexe n° 1 : illustrations des contre-stratégies	216
Annexe n° 2 : outils de travail	222
Liste des sigles	229
Bibliographie	235

INTRODUCTION GÉNÉRALE : LA SUPRÉMATIE AÉRIENNE, UN PRÉSUPPOSÉ STRATÉGIQUE FRAGILE

Tout au long de la brève histoire de la puissance aérienne, la maîtrise du ciel s'est révélée indispensable au succès des opérations, de la campagne de Normandie en 1944 à celle de Libye en 2013, en passant par la guerre des Six Jours. Au fur et à mesure que l'aviation trouvait sa place dans la stratégie militaire, il est apparu de plus en plus clairement que l'obtention de la supériorité aérienne, même locale et momentanée, constituait un préalable obligé à toutes les autres missions offensives associées à la troisième dimension (appui-feu, interdiction, bombardement stratégique). En sens inverse, cette supériorité représente, pour celui qui la subit, un obstacle dirimant au point d'interdire toute manœuvre terrestre d'envergure.

Cette réalité stratégique semble se vérifier plus encore depuis la guerre du Golfe ; au cours de celle-ci, et sous l'impulsion des États-Unis, la maîtrise de la troisième dimension s'est affirmée comme l'un des attributs les plus caractéristiques de la puissance militaire occidentale contemporaine. Composante indispensable d'une manœuvre interarmées ou force de décision autonome, l'arme aérienne apparaît aujourd'hui comme le véritable « cheval de trait » des interventions militaires des dernières décennies. Les causes de cette prééminence sont multiples, des vertus militaires propres à la puissance aérienne jusqu'à l'aversion politique aux pertes et à la préférence occidentale pour les engagements à distance de sécurité⁽¹⁾.

La centralité de l'arme aérienne dans les dispositifs militaires occidentaux, et son corollaire, l'acquisition de la supériorité aérienne, font désormais figure d'évidences jamais remises en question, et pour ainsi dire de véritables impensés des postures stratégiques occidentales. Alors que les souvenirs des dernières pertes massives d'appareils, et même d'opposition aérienne sérieuse, se font de plus en plus lointains, nations et opinions publiques occidentales en sont en effet venues à tenir pour acquise la supériorité et même la suprématie aériennes dans l'immense majorité de leurs *scenarii*.

De fait, les progrès considérables effectués par l'arme aérienne au cours des trente dernières années permettent d'affirmer, avec Benjamin Lambeth, que cette dernière a désormais atteint sa pleine maturité stratégique⁽²⁾. À partir des

(1) Karl P. Mueller, « Flexible Power Projection for a Dynamic World : Exploiting the Potential of Air Power » in Cindy Williams, *Holding the Line : US Defense Alternatives for the Early 21st Century*, Cambridge, MA, MIT Press, 2001 ; Étienne de Durand, « Le renouveau de la puissance aérienne », *Hérodote*, 2004/3, n° 114, p. 17-34.

(2) Benjamin Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, Ithaca, NY, Cornell University Press, 2000, p. 265.

années 1970, le développement en parallèle des munitions de précision (PGM), des capacités de suppression des défenses aériennes (SEAD), de capteurs tout temps, ainsi que des fonctions C4ISTAR et des plateformes aériennes de radar de veille, ont suscité une synergie permettant l'avènement d'un modèle militaire occidental que l'on pourrait presque qualifier d'aérocentré.

L'ARME AÉRIENNE, PREMIÈRE LIGNE ET DERNIER REMPART DE LA PUISSANCE OCCIDENTALE

Dès les lendemains de la Première Guerre mondiale, l'intérêt stratégique de l'arme aérienne est apparu clairement, ses premiers théoriciens voyant dans la puissance aérienne le moyen de s'affranchir des pesanteurs et des coûts de l'action militaire terrestre, et de renouer ainsi avec la fulgurance et la décision. La Seconde Guerre mondiale a ensuite prouvé de manière répétée (dans les cieux européens, russes ou pacifiques) le caractère indispensable de la puissance aérienne, ses effets massifs sinon décisifs, enfin l'impérieuse nécessité d'acquiescer aussi rapidement que possible la supériorité aérienne, de préférence en neutralisant offensivement le potentiel aérien adverse.

Dès lors, les pays occidentaux, et notamment les États-Unis, ont systématiquement recherché et obtenu la supériorité aérienne dans tout conflit où ils se trouvaient impliqués. À quelques exceptions près (premiers temps de la guerre de Corée, certains épisodes de la guerre du Vietnam, début de la guerre du Kippour), cet avantage a presque toujours été maintenu. Il faut toutefois attendre la chute de l'Union soviétique d'une part, et le test de la guerre du Golfe d'autre part, pour que la supériorité traditionnelle devienne suprématie.

L'avance prise par les États-Unis et leurs alliés au début des années 1990 a démontré à leurs adversaires potentiels la vanité de toute concentration terrestre au niveau opératif – la riposte aérienne à l'offensive irakienne sur Al Khaffji en janvier 1991 en est un exemple édifiant⁽³⁾. La supériorité en termes d'information comme de puissance de feu, ainsi que l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des frappes de précision, démultiplient le nombre de cibles qui peuvent être engagées par sortie et donc l'impact global de l'*Airpower*. Les armées occidentales sont tellement habituées à cette supériorité qu'aucune opération d'envergure ne serait aujourd'hui envisagée sans la garantie d'un tel avantage. La puissance aérienne est ainsi devenue l'arme de décision par excellence dans toute perspective de lutte contre un ennemi symétrique et conventionnel⁽⁴⁾.

Le spectre d'emploi des forces aériennes ne se limite pourtant pas aux conflits de haute intensité. Délivrées de toute menace existentielle par la fin de la guerre froide, les nations occidentales se sont engagées depuis vingt ans dans une logique d'interventions expéditionnaires, que ce soit pour maintenir

(3) Richard P. Hallion, *Storm over Iraq, Air Power and the Gulf War*, New York, Smithsonian Books, 1997.

(4) Robert A. Pape, *Bombing to Win. Air Power and Coercion in War*, Ithaca, Cornell University Press, 1996; Benjamin Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*

le *statu quo* territorial, prévenir l'escalade guerrière ou appliquer des accords de paix. Ces engagements politiques limités ont contribué à une aversion au risque en général et aux pertes en particulier. L'arme aérienne a prouvé à maintes reprises qu'elle était l'arme de choix pour ce type de missions. Sorte de «flirt sans engagement»⁽⁵⁾⁽⁶⁾, l'*Airpower* est apparu comme l'outil de gestion de crise idéal, autorisant une présence militaire désengagée mais réelle. S'appliquant sur l'ensemble du spectre de la conflictualité, de la guerre majeure aux opérations de simple surveillance, l'arme aérienne s'affirme ainsi comme le véritable «cheval de trait» de l'action militaire contemporaine.

Même lorsqu'une présence terrestre conséquente s'est révélée inévitable, la force aérienne a le plus souvent constitué une composante indispensable et même un préalable obligé à tout engagement militaire, véritable clé de l'entrée en premier et garantie de sûreté opérationnelle. Durant les opérations de l'OTAN menées dans les Balkans dans les années 1990 (*Deliberate Force* en 1995, *Allied Force* en 1999), la puissance aérienne a assuré l'essentiel de la phase coercitive, en conjonction avec les alliés locaux au sol, permettant ainsi de briser les capacités de l'ennemi avant de déployer des forces terrestres chargées de la phase de stabilisation.

L'engagement dans les opérations de guerre irrégulière au cours des dix dernières années a contribué à l'évolution des concepts d'emploi des forces aériennes mais n'a pas fondamentalement remis en cause son importance dans le modèle militaire occidental. Certes, la dispersion des grandes formations terrestres, le développement de tactiques non-linéaires et la dématérialisation des réseaux de commandement et de contrôle ont entravé l'impact stratégique de l'arme aérienne⁽⁷⁾. Cependant, les contraintes politiques et l'adoption d'un modèle de projection fondé sur «l'empreinte légère», en réduisant la puissance de feu organique des éléments terrestres, ont considérablement accru la dépendance de celles-ci à l'égard de la composante aérienne. La multiplication du recours à l'appui aérien rapproché (*close air support*) par les forces terrestres au cours des dix dernières années atteste bien de la permanence du besoin aérien⁽⁸⁾. Or, c'est bien la totale maîtrise du ciel qui a permis à des forces terrestres légères et peu nombreuses d'opérer de façon relativement sécurisée et confiante sur de vastes théâtres comme l'Afghanistan.

Enfin, les évolutions technologiques récentes, notamment le développement rapide des capacités des drones, n'ont fait que renforcer la centralité de l'*Airpower*. Les progrès réalisés en matière d'armement (dont les PGM), d'autonomie et de communication ont rendu possible le maintien d'une quasi-permanence

(5) Eliot A. Cohen, «The Mystique of US Air Power», *Foreign Affairs*, vol. 73, n° 1, 1994, p. 109-124.

(6) Étienne de Durand, «Les faces cachées de la puissance aérienne», *Revue défense nationale*, n° 6, juin 2007.

(7) Ron Tira, *The Limitations of Standoff, Firepower Based Operations*, Tel Aviv, Institute for National Security Studies, 2007.

(8) M.H. Johnson, «Clear to Engage. Improving the effectiveness of JCAS», *Air & Space Power Journal*, été 2008. Sur ce point, lire également Elie Tenenbaum, «Entre ciel et terre. Le débat sol-air et les défis de l'appui-feu», *Focus Stratégique*, n° 35, février 2012.

en l'air, offrant ainsi enfin la possibilité de suivre constamment et d'engager des « cibles d'opportunité », catégorie qui avait jusqu'alors représenté le point limite des capacités de la puissance aérienne.

Tous ces éléments contribuent à ce que s'enracine une conception de l'arme aérienne comme à la fois première ligne de défense – présente sur tous les fronts, de la simple démonstration de force à l'intervention massive contre un ennemi symétrique – et dernier rempart – garantie ultime de la sûreté de la force interarmées et plus généralement de la supériorité militaire occidentale.

LE DÉVELOPPEMENT DES CONTRE-STRATÉGIES AÉRIENNES ET L'ÉQUILIBRE ATTAQUE-DÉFENSE

L'importance primordiale de l'arme aérienne dans la définition de la puissance occidentale doit naturellement susciter une réflexion stratégique et prospective particulièrement attentive. De fait, les avantages décisifs qu'offre la suprématie aérienne à qui la possède sont proportionnels aux risques encourus pour qui la perdrait.

Le coût de développement de stratégies aériennes offensives reste excessivement élevé, et pour l'heure inaccessible à la plupart des adversaires potentiels de l'Occident. En revanche, il apparaît de plus en plus clairement que des stratégies fondées sur des systèmes défensifs performants peuvent, sinon mettre en échec, du moins peser lourdement sur les moyens aériens occidentaux au point d'élever le coût de leur emploi au-dessus de l'acceptable – *a fortiori* dans un contexte budgétairement et politiquement contraint.

La force de telles stratégies se décline sur plusieurs niveaux d'analyse. À l'échelle politico-stratégique, les postures dites de « déni d'accès⁽⁹⁾ » reposent sur l'avantage, déjà souligné par Clausewitz, du défenseur face à l'attaquant⁽¹⁰⁾. Celui-ci s'exprime sur le plan financier : alors que l'horizon opérationnel occidental est désormais celui d'une projection de forces et de puissance sur des théâtres éloignés, le rapport entre les coûts des dispositifs offensifs et défensifs se démarque très nettement en faveur des seconds⁽¹¹⁾. La vulnérabilité de la posture de projection souffre également d'une situation d'« asymétrie des volontés » favorable au défenseur, pour lequel l'enjeu est habituellement plus élevé, assurant une tolérance aux pertes et aux coûts supérieure, une capacité à durer et à mettre en œuvre des stratégies d'usure efficaces à l'encontre d'un adversaire loin de ses bases.

Pour se matérialiser, cet avantage politico-stratégique doit pourtant s'incarner dans une posture technico-opérationnelle favorable ou du moins soutenable – précisément ce qui a manqué aux adversaires de l'Occident depuis

(9) Corentin Brustlein « Vers la fin de la projection de forces ? » « I. La menace du déni d'accès », *Focus stratégique*, n° 20, avril 2010.

(10) Carl von Clausewitz, *De la guerre*, Paris, Éditions de Minuit, 1955, livre VI, chapitre I.

(11) Barry Posen, « Command of the Commons. The Military Foundations of US Hegemony », *International Security*, vol. 28, n° 1, 2003, p. 5-46.

vingt ans. À l'image du domaine terrestre, et comme Beaufre l'a expliqué, l'arme aérienne est soumise à un processus cyclique, en grande partie commandé par des facteurs techniques, qui fait évoluer l'équilibre attaque-défense au cours du temps⁽¹²⁾. Si la supériorité technologique construite par l'Occident depuis la fin des années 1970 a conféré jusqu'à aujourd'hui une prime considérable à l'offensive par voie aérienne, rien n'autorise à penser que des progrès techniques dans le domaine de la défense anti-aérienne ne seraient pas demain en mesure, sinon de bouleverser, du moins d'altérer considérablement l'équilibre attaque-défense actuel. Il faut à cet égard rappeler le choc qu'a pu représenter la guerre du Kippour en 1973, non seulement pour les Israéliens mais pour l'ensemble des pays occidentaux : l'acuité de la menace sol-air et plus généralement l'équilibre tactique en place à l'époque ont été reconsidérés.

Même si l'émergence de contre-stratégies aériennes efficaces n'apparaît pas toujours au premier rang des priorités de la prospective stratégique, elle doit être analysée au prisme du risque qu'elle représente, celui-ci étant traditionnellement défini comme la combinaison d'une probabilité et d'une vulnérabilité. La place prise par l'arme aérienne dans les postures des armées occidentales et la dépendance de ces dernières à son égard constituent une motivation puissante pour les adversaires potentiels cherchant à formuler des réponses efficaces au style de guerre occidental. La perte, même provisoire, de la suprématie aérienne aurait par ailleurs de graves conséquences pour la liberté d'action militaire de l'Occident et la stabilité internationale.

Afin de mettre en lumière les évolutions à l'œuvre dans l'émergence des défis anti-aériens et d'en déduire les implications capacitaires et conceptuelles pour les forces aériennes occidentales, cette étude se propose de procéder à une analyse en trois phases. Dans un premier temps, sont mises en évidence les dynamiques historiques de la dialectique entre puissance aérienne et déni d'accès, soulignant au passage l'importance du facteur sol-air dans les stratégies de contestation. Cette mise en perspective dans le temps long permet ensuite de mener une analyse prospective de la menace anti-aérienne, en soulignant les tendances globales, mais également les mutations capacitaires qui, articulées de façon cohérente, permettent l'émergence de véritables contre-stratégies, intégrées et dynamiques. C'est de ce tableau prospectif d'une menace en gestation que sont finalement tirées les grandes orientations susceptibles de pérenniser la supériorité aérienne occidentale et, avec elle, le maintien de la stabilité internationale.

(12) André Beaufre (général), *Introduction à la stratégie*, Paris, Economica, 1985 (1963), p. 58-60.

CHAPITRE I

APPROCHE HISTORIQUE DE LA CONTRE-STRATÉGIE AÉRIENNE

INTRODUCTION

La mise en perspective historique de la question de la supériorité aérienne, et des stratégies destinées à son acquisition et, en retour, à sa contestation laisse apparaître un schéma dialectique en vertu duquel les progrès réalisés par l'attaque, souvent considérés comme définitifs, doivent être régulièrement remis en perspective face à une adaptation de la défensive. Deux tendances structurantes apparaissent à l'issue d'une telle analyse rétrospective des parades aux stratégies aériennes : d'une part, le développement massif et industriel de la puissance aérienne depuis le début du xx^e siècle, qui passe d'un instrument d'affrontement symétrique à l'incarnation de la supériorité militaire conventionnelle de l'Occident ; d'autre part, une dynamique de sophistication stratégique progressive accompagnant l'évolution des adversaires vers une posture de plus en plus asymétrique, contribuant à transformer de simples parades tactiques et techniques en de véritables contre-stratégies aériennes.

Afin de mettre en évidence cette dialectique historique de la contestation aérienne, il convient de suivre le déroulement chronologique et d'étudier les principales étapes de cette évolution : un premier temps (1914-1945) correspond à l'âge de la guerre totale et voit l'émergence de la puissance aérienne en même temps que ses premières formes de contestation ; une seconde époque (1945-1990) est marquée par le paradigme stratégique de la guerre froide qui stimule à la fois la course technologique et les contournements asymétriques ; enfin, une dernière période se prolongeant jusqu'à aujourd'hui est marquée par l'affirmation d'une supériorité incontestée de la puissance aérienne occidentale et des pièges qui lui sont associés.

LA NAISSANCE DE LA PUISSANCE AÉRIENNE ET DE SES PREMIÈRES FORMES DE CONTESTATION (1914-1945)

Introduite dans les premières années du xx^e siècle, la technologie aérienne de la voilure fixe a fait son entrée dans le monde militaire avec la Première Guerre mondiale⁽¹⁾. Cet épisode, souvent moins étudié que celui de 1939-1945 par les

(1) Tami Biddle, « Learning in Real Time : The Development and Implementation of Air Power in the First World War », in Sebastian Cox et Peter Gray (dir.), *Air Power History. Turning Points from Kitty Hawk to Kosovo*, Londres, Frank Cass, 2002, p. 3-20 ; John H. Morrow Jr., « The First World War, 1914-1919 », in John Andreas Olsen (dir.), *A History of Air Warfare*, Washington, Potomac Books, 2010, p. 3-26.

historiens de l'aviation, a pourtant vu l'émergence de tous les grands concepts d'emploi de l'arme aérienne, ouvrant ainsi la voie à une nouvelle composante de la stratégie militaire. Ces concepts opérationnels méritent d'être brièvement rappelés, dans la mesure où ils constituent aujourd'hui encore les piliers de la puissance aérienne, ceux-là même qui ont ensuite été contestés dans le cadre de contre-stratégies, ou encore réaffirmés par le biais de stratégies de domination.

LES FONDEMENTS OPÉRATIONNELS DE LA PUISSANCE AÉRIENNE

Les toutes premières missions attribuées à l'aviation sont associées aux fonctions d'observation et de reconnaissance. Dès 1914, les batailles de la Marne à l'Ouest et de Tannenberg à l'Est démontrent que l'aviation peut fournir des renseignements dans une profondeur sans commune mesure avec celle des unités de reconnaissance traditionnelles. Par ailleurs, le développement de l'arme aérienne est également le produit des progrès massifs réalisés dans le domaine de l'artillerie, dont la portée toujours plus grande impose de planifier les barrages roulants à partir de cartes d'état-major rarement à jour. Dès la bataille de Neuve-Chapelle en 1915, l'arrivée de l'aviation permet aux Britanniques de fonder leurs plans sur une reconnaissance photographique précise des lignes ennemies. La coordination en temps réel demande quant à elle plus de temps : reposant d'abord sur des signaux lumineux, elle franchit un cap à la fin de la guerre avec l'arrivée de la radio dont l'emport embarqué permet «de véritables conversations entre l'air et le sol»⁽²⁾ afin d'ajuster le feu. Cette nouvelle technique permet également d'accroître la précision de l'artillerie lourde qui frappe l'ennemi en profondeur⁽³⁾. Même si ce type de missions d'observation peut aujourd'hui sembler désuet, il correspond en fait à une fonction encore centrale de la puissance aérienne : la reconnaissance et l'acquisition de cibles, une mission aujourd'hui plus connue sous l'acronyme ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*), source de la domination informationnelle du champ de bataille.

Les frappes contre les positions adverses constituent le second grand type de missions aériennes qui se développe pendant la Première Guerre mondiale. Une fois atteinte une certaine maturité technologique de la plateforme⁽⁴⁾, et à condition que la supériorité aérienne soit acquise, l'aviation allemande pratique occasionnellement des frappes au sol, en appui direct à la manœuvre de l'infanterie. Aux batailles de Gravelle en avril et Passchendaele en juillet 1917,

(2) Michel Goya, *La chair et l'acier, l'invention de la guerre moderne 1914-1918*, Paris, Tallandier, 2004, p. 296.

(3) Elie Tenenbaum, «Entre ciel et terre. Le débat air-sol et les défis de l'appui-feu», *Focus stratégique*, n° 35, février 2012.

(4) Si la fixation d'une mitrailleuse sur les biplans intervient assez rapidement, le mécanisme leur permettant de tirer au travers des hélices ainsi que le portage de petites bombes doivent attendre 1917. À ce propos, lire Trevor N. Dupuy, *The Evolution of Weapons and Warfare*, New York, Da Capo, 1991, p. 241-242.

les *Schusta* (escadrons de protection) allemands⁽⁵⁾ mitraillent systématiquement les positions britanniques. Impressionné par leur bilan, l'état-major les rebaptise d'ailleurs *Schlasta* (escadrons d'attaque) en mars 1918 en prévision de leur participation à l'offensive du printemps. Les Français, de leur côté, et les Américains à leur suite développent en masse une aviation bicéphale composée de chasseurs et de bombardiers. Ces derniers reçoivent un rôle d'appui direct dans la contre-offensive de l'été 1918, et s'illustrent notamment lors de la bataille du saillant de Saint-Mihiel en septembre⁽⁶⁾. Aujourd'hui connue sous le nom d'appui aérien rapproché, ou encore *Close Air Support* (CAS), cette fonction reste l'une des missions fondamentales de l'aviation et s'est même vue considérablement renforcée depuis la fin de la guerre froide⁽⁷⁾.

La distinction entre appui aérien rapproché et frappes d'interdiction apparaît, alors que les escadrilles s'enfoncent de plus en plus profondément derrière les lignes ennemies, en s'attaquant notamment aux voies de communication et en particulier aux chemins de fer. L'emploi de forces aériennes est dès lors envisagé dans le but d'interdire l'accès au front au commandement ainsi qu'à la masse des réserves ennemies, et ce, grâce à l'attaque systématique des voies de transport et de communication. Cependant, l'absence totale de précision dans les frappes contraint fortement l'application d'un tel concept opérationnel. Ainsi, l'historien britannique Basil Collier a par exemple dénombré que lors des bombardements alliés contre les voies ferrées allemandes survenus entre le 1^{er} mars et le 20 juin 1915, seules trois des 141 tentatives sont parvenues à atteindre leur objectif⁽⁸⁾. Avec l'amélioration de la précision des munitions au cours du xx^e siècle, le concept opérationnel d'interdiction n'a cessé de se renforcer par la suite, en particulier lors de la seconde guerre mondiale, jusqu'à constituer aujourd'hui l'un des piliers de la puissance aérienne.

Enfin, si le bombardement stratégique n'est pas encore théorisé, la Première Guerre mondiale n'en voit pas moins les premiers raids d'aviation de longue portée, mis en œuvre par les Allemands *via* des dirigeables *Zeppelin* dès la fin 1916, mais surtout avec les appareils *Gotha G. IV*, premiers bombardiers lourds de l'histoire qui frappent Londres à plusieurs reprises au cours du printemps 1917. Il s'agit dès lors de frapper l'ennemi dans son cœur économique et politique, en espérant jouer directement sur le moral de l'arrière et sur ses capacités industrielles. Par imitation, les Britanniques mettent en place une force aérienne « indépendante » (*Independant Air Force*), c'est-à-dire distincte du théâtre d'opérations, sous la tutelle du général Hugh Trenchard et destinée essentiellement à frapper les villes allemandes de Rhénanie. Bien que la

(5) John McGrath, *Fire for Effect, Field Artillery and Close Air Support in the US Army*, Fort Leavenworth, Combat Studies Institute Press, 2007, p. 39. Lire également, Rick Duiven et Dan-San Abbott, *Schlachtfieger! Germany and the Origins of Air Ground Support, 1916-1918*, Atglen, Schiffer, 2006, p. 14-23.

(6) McGrath, *Fire for effect. Field Artillery and Close Air Support in the US Army*, op. cit., p. 44.

(7) Elie Tenenbaum, « Entre ciel et terre », op. cit.

(8) Robin Higham, « Air Power in World War I, 1914-1918 » in Alan Stephens (dir.), *The War in the Air, 1914-1994*, Fairbairn, Royal Australian Air Force Aerospace Center, 1994, p. 1-20.

doctrine du bombardement stratégique, théorisée peu de temps après la Grande Guerre par l'italien Giulio Douhet ait pu être contestée par la suite, et à de multiples reprises⁽⁹⁾, les notions de frappe dans la profondeur et de *strategic attack* restent à ce jour des concepts opérationnels dimensionnants pour la puissance aérienne occidentale.

Même si la Première Guerre mondiale n'est pas universellement perçue comme une guerre aérienne, elle a donc posé les jalons des grands concepts d'emploi opérationnels à la source de l'idée de stratégie aérienne. Elle démontre pour la première fois la supériorité dont bénéficie celui qui maîtrise la troisième dimension sur le champ de bataille. De par la logique dialectique inhérente à la stratégie, cette supériorité suscite naturellement la volonté de l'adversaire de la contester, et donc l'apparition de parades permettant l'émergence progressive de contre-stratégies.

« *THE BOMBER WILL ALWAYS GET THROUGH* » :

LA DIFFICILE ÉMERGENCE DE CONTRE-STRATÉGIES AÉRIENNES

La première parade à l'emploi de l'arme aérienne par l'adversaire est « l'action réciproque »⁽¹⁰⁾, c'est-à-dire symétrique. La naissance d'une aviation de chasse, dont la mission est de nier à l'adversaire la maîtrise de l'espace aérien, est pratiquement concomitante de la perception de l'intérêt d'une telle maîtrise. Au cours du xx^e siècle, plus la puissance aérienne est considérée comme importante, voire centrale, plus l'intérêt de l'interdire à l'adversaire est grand. La défense aérienne est donc initialement apparue dès le début de la Grande Guerre sous la forme du « duel » entre avions. Largement diffusé dans la culture populaire, ce mode opératoire n'en était pas moins extrêmement aléatoire du fait de l'absence d'outils de navigation, d'observation et surtout d'acquisition adaptés. Au fur et à mesure que la technologie aéronautique progresse pendant le conflit, les belligérants déploient des escadrons d'intercepteurs, disposant d'une meilleure configuration tactique ainsi que d'une liaison avec des systèmes de détection sonore avancés – notamment en Angleterre, placés le long des côtes – permettant une meilleure réactivité face à un raid aérien. Cette technologie rudimentaire ne permet pourtant que rarement de prévenir une attaque et il faut attendre 1918 pour voir certains raids allemands repoussés par l'aviation britannique. Par ailleurs, des ballons de barrage sont également mis en place au-dessus des objectifs importants, qui rendent impossible toute trajectoire de vol en deçà d'eux⁽¹¹⁾.

Une autre réponse à la puissance aérienne ne s'est pas fait attendre : le canon anti-aérien. Dès les premières années de la guerre, les Allemands transforment certaines de leurs pièces d'artillerie en unités de *Flugzeugabwehrkanonen*

(9) Robert Pape, *Bombing to win : Air Power and Coercion in War*, Ithaca, Cornell University Press, 1996.

(10) Clausewitz, *De la guerre, op. cit.*, p. 53-54.

(11) Maj Franklin J. Hillson, USAF, « Barrage Balloons for Low-Level Air Defense », *Air & Space Power Journal*, été 1989, accessible à l'adresse : <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj89/sum89/hillson.html>

(FLAK) de différents calibres, projetant des obus explosifs. Les Français, principales victimes de l'aviation allemande pendant la durée de la guerre, mettent également sur pied des régiments de défense contre avions (DCA) sur le théâtre d'opérations et de défense aérienne du territoire (DAT) sur l'arrière stratégique. Ces défenses sol-air sont capables de menacer sérieusement les escadrons ennemis jusqu'à 8 000 pieds, ce qui est considérable compte tenu des altitudes de vol de l'époque. La précision des tirs reste cependant aléatoire et la coordination des batteries sol-air avec la flotte d'intercepteurs extrêmement sommaire. En dépit de ces limites, la création en juillet 1917 d'une *London Air Defence Area* (LADA) pour protéger la capitale britannique des attaques allemandes atteste des progrès de la défense aérienne et annonce les premiers éléments d'une défense intégrée en combinant un réseau de vigies et de détecteurs sonores, une flotte d'intercepteurs, des barrages de ballons, des canons anti-aériens et des unités de projecteurs (*searchlights*)⁽¹²⁾.

La période de l'entre-deux-guerres est marquée par un certain oubli des dispositifs de défense aérienne montés pendant la Grande Guerre. Le triomphe des théories offensives du bombardement stratégique exerce une telle fascination intellectuelle sur les décideurs politiques et militaires que toute contre-stratégie visant à interdire l'accès du ciel aux bombardiers est déconsidérée. Cette opinion est parfaitement illustrée par le discours de Stanley Baldwin à la Chambre des communes en 1932 lorsque ce dernier déclare : "*It is well also for the man in the street to realise that there is no power on earth that can protect him from being bombed. Whatever people may tell him, the bomber will always get through.*"⁽¹³⁾ En dépit de cette atmosphère intellectuelle à laquelle participait le général Trenchard, la Grande-Bretagne ne se prive pas pour autant d'engager une réflexion d'avant-garde sur la défense aérienne, comme l'atteste la création en 1923 d'un programme de *Home Defence Air Force* (HDAF). Tirant profit des progrès dans le domaine aéronautique, des communications air-sol ainsi que des systèmes de détection avancés – précurseurs du radar – les commandants de la HDAF estiment pouvoir améliorer considérablement l'efficacité de leur flotte d'intercepteurs⁽¹⁴⁾.

Au tournant des années 1930, la Grande-Bretagne est le pays le plus avancé en matière de défense aérienne. Fort de l'expérience de la LADA, elle met en place un système qui se veut largement intégré, c'est-à-dire raccordé par un système centralisé de commandement, de contrôle et de communication (C3) capable d'identifier la menace et de distribuer rapidement les ordres à des escadrons prépositionnés selon un quadrillage territorial. Désormais, tous les chasseurs peuvent opérer sous contrôle permanent du sol, à même de leur livrer

(12) James D. Crabtree, *On Air Defense*, Westport, Praeger, p. 10 et suiv.

(13) Cité in Keith Middlemas, Anthony John Lane Barnes, *Baldwin : a biography*, London, Macmillan, 1970.

(14) John Ferris «Achieving Air Ascendancy : Challenge and Response in British Strategic Air Defence, 1915-1940», in Sebastian Cox et Peter Gray (dir.), *Air Power History. Turning Points from Kitty Hawk to Kosovo*, Londres, Frank Cass, 2002, p. 21-50.

des informations sur l'ennemi ainsi que d'assurer la déconfliction avec l'artillerie anti-aérienne.

Parallèlement à ces progrès organisationnels, des progrès technologiques transforment radicalement les capacités de la défense aérienne, en particulier avec le développement d'une nouvelle génération de chasseurs-intercepteurs, *Hurricane* puis *Spitfire* qui combinent une puissance de feu, une vitesse et une manœuvrabilité sans aucun équivalent⁽¹⁵⁾. L'artillerie sol-air connaît aussi un développement qualitatif avec des munitions et des calibres spécifiques dédiés, mais surtout avec l'adjonction de centres techniques ralliés aux postes d'observation et de détection, chargés de croiser les différentes informations sur les cibles (vitesse, altitude, portée)⁽¹⁶⁾. Il faut cependant attendre 1935 pour que toutes ces évolutions fusionnent en une véritable révolution de la défense aérienne avec l'introduction du radar. Au cours de l'expérience de Daventry, en février 1935, une équipe britannique parvient à détecter et suivre un bombardier volant à 100 miles/heure et plus de 10 000 pieds d'altitude. Selon le principe désormais bien connu, l'émetteur envoie des ondes radio dont la longueur est optimisée pour susciter un fort écho compte tenu de la taille supposée des appareils adverses. Le revêtement métallique des avions de l'époque permet d'optimiser d'autant plus le retour électromagnétique⁽¹⁷⁾.

À la veille de la seconde guerre mondiale, les principaux éléments techniques, tactiques et organisationnels sont mis en place pour permettre l'émergence d'une véritable contre-stratégie fondée sur la redondance et l'intégration des moyens d'acquisition et d'interception. Le déclenchement du conflit va encore accélérer ces développements⁽¹⁸⁾.

LA RÉVOLUTION RADAR ET LE DÉFI DE SYSTÈMES DE DÉFENSE AÉRIENNE INTÉGRÉS

L'arrivée du radar à la veille de la seconde guerre mondiale transforme en profondeur la notion même de contre-stratégie aérienne. La bataille d'Angleterre en 1940 est sans doute la plus célèbre expression de cette transformation de la guerre aérienne. Conscient de l'avance britannique en la matière, le maréchal de l'air allemand, Hermann Göring, lance une série d'opérations contre la ligne de radars côtiers établie par les Anglais. En dépit de l'impact dramatique de ces frappes de l'été 1940 sur le dispositif britannique, les Allemands ne prennent jamais conscience de leur succès, la faiblesse de leur renseignement électronique (SIGINT) ne leur permettant pas de percevoir les effets de leurs attaques.

(15) *Ibid.*, p. 27.

(16) Crabtree, *On Air Defense*, op. cit., p. 37.

(17) Rebecca Grant, *The Radar Game : Understanding Stealth and Aircraft Survivability*, Arlington, Mitchell Institute Press, septembre 2010, p. 10.

(18) Alan Beyerchen, « From Radio to Radar. Interwar Military Adaptation to Technological Change in Germany, the United Kingdom, and the United States », in Williamson Murray et Allan R. Millett (dir.), *Military Innovation in the Interwar Period*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996, p. 265-299.

Dans la bataille offensive pour la supériorité aérienne (BOSA) menée par les Allemands à partir de l'été 1940, la *Luftwaffe* souffre de ce que ses appareils ont été développés et optimisés pour l'appui à la progression terrestre et ne disposent ni des capacités pour mener une campagne de bombardement stratégique (dans le cas des bombardiers légers de type Ju-88 *Stuka*), ni des meilleures capacités de combat air-air (dans le cas des chasseurs Me-109). Les appareils britanniques surclassent largement les Allemands en matière de vitesse comme de manœuvrabilité. L'attrition subie par la *Royal Air Force* (RAF) est évidente, mais surestimée par les Allemands : après de lourdes pertes britanniques, Goering estime qu'il reste à la RAF 150 appareils alors qu'elle en compte encore 750.

Ces deux erreurs d'appréciation expliquent le changement de stratégie de la *Luftwaffe* en faveur du bombardement des centres de population, destinée à faire plier le moral ennemi. Dans la nuit du 7 septembre 1940, celle-ci opère le premier raid sur la capitale anglaise à l'aide de 350 bombardiers, escortés par 600 chasseurs. Face à un tel déluge de feu, Londres mobilise toute l'artillerie anti-aérienne disponible dans le pays, utilisant les friches engendrées par les bombardements pour y installer des batteries en plein cœur de la ville.

Afin de maintenir le moral de la population face aux soixante-cinq nuits consécutives de bombardement, le gouvernement britannique met également en place un dispositif de défense passive très complet fondé sur la défense civile, le durcissement des infrastructures, la dispersion des forces et la pratique de la « déception ». La défense civile est destinée à protéger physiquement et moralement la population des effets des bombardements. Ainsi, les enfants sont évacués dans les campagnes, et ceux qui restent sont installés dans les longs couloirs du métropolitain de la capitale (*dispersion*). De nombreux abris anti-aériens sont construits à partir des souterrains déjà présents et la population est contrainte de s'y rendre à chaque raid. Ce durcissement est systématiquement appliqué à la protection de tous les centres de commandement politique et militaire, afin de préserver la capacité de décision de l'exécutif. Enfin, un encadrement idéologique intense est mis en place par une programmation radiophonique, cinématographique et iconographique destinée à maintenir le moral général.

La pratique de la « déception » est également portée par les Britanniques à une échelle totalement inédite. De fausses pistes aériennes connues sous le nom de « sites K » sont mises en place afin de détourner l'effort allemand des véritables infrastructures. Pour plus de réalisme, ceux-ci sont remplis d'appareils factices construits par l'industrie cinématographique. De même, les « sites Q » sont destinés à simuler toute forme d'activité par l'usage de lumières visibles depuis le ciel.⁽¹⁹⁾

(19) Sur la déception lire Donald J. Bacon, « Second World War Deception. Lessons Learned for Today's Joint Planner », USAF, *Air Command and Staff College Wright Flyer*, n° 5, Maxwell, December 1998.

L'ensemble de ces contre-stratégies combinées amène le haut commandement allemand à abandonner ses plans d'invasion de l'Angleterre et à prendre le risque d'une guerre sur deux fronts. Ce sont désormais les armées de l'air alliées (RAF, bientôt rejointe par l'*US Army Air Force*) qui prennent l'offensive et amènent la guerre dans le ciel de l'ennemi. Si la défense aérienne allemande n'a pas la dimension innovante et intégrée de celle de la Grande-Bretagne en 1940, elle n'en repose pas moins sur un outil performant. L'artillerie anti-aérienne allemande (FLAK), notamment, apparaît d'emblée comme un formidable adversaire contre la supériorité anglo-américaine. Un rapport de la *8th Air Force* américaine montre ainsi qu'entre janvier 1943 et mai 1944, les pertes alliées résultant de combats air-air n'ont cessé de se réduire tandis que celles dues à la FLAK augmentaient et, dans les derniers mois de cette période, étaient jusqu'à dix fois plus importantes que les pertes occasionnées par les chasseurs de la *Luftwaffe*. Dans les deux dernières années de la guerre, la FLAK peut ainsi être considérée comme la meilleure défense des Allemands contre l'aviation alliée.

TABLEAU 1 : PERTES AÉRIENNES ALLIÉES (POUR 100 SORTIES) ENTRE 1943 ET 1944

Année	Appareils détruits (total)	Appareils touchés par les chasseurs	Appareils touchés par la FLAK
Janvier – juin 1943	5,5	14,2	16,8
Juin – décembre 1943	4,1	7,4	21,4
Janvier – mai 1944	2,6	2,2	23,3

Source : William A. Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD : the Wild Weasel in Vietnam*, Air University, Maxwell Air Force Base, AL, 1992, p. 5.

Face à cette menace considérable, les Alliés déploient une série de contre-mesures destinées à maintenir leur supériorité aérienne. Ces contre-mesures constituent la base d'un nouveau concept d'emploi opérationnel connu sous le nom de « neutralisation des défenses aériennes ennemies » (en anglais *Suppression of Enemy Air Defense* ou SEAD).

La première contre-mesure, qui reste encore la plus répandue aujourd'hui, consiste simplement à contourner les sites anti-aériens, en se tenant hors de portée de leurs batteries, en jouant sur l'altitude et la trajectoire de vol. Jouer sur les formations de vol est également une option : dès lors que la FLAK ne vise pas un appareil précis, mais une formation dans son ensemble, réduire la densité de celle-ci en espaçant les bombardiers permet de réduire la probabilité d'une touche à peu de frais. Ce type de manœuvres d'évitement peut cependant peser sur l'efficacité de la mission elle-même, dès lors que l'altitude et la concentration des appareils ont une incidence directe sur la précision du bombardement.

Une seconde série de contre-mesures est mise sur pied dans ce qui constitue les prodromes de la guerre électronique sous les noms de code *Window* et *Carpet*. Le premier désigne de fines lamelles d'aluminium connues sous le nom de paillettes ou *chaff*, ayant pour propriété électromagnétique d'amplifier considérablement l'écho radar au point de saturer ce dernier. Les paillettes

forment donc un écran protecteur pour les formations de bombardiers alliés contre les radars allemands directement associés à l'orientation des batteries anti-aériennes. Cette contre-mesure, dont le principe est encore utilisé aujourd'hui, reste cependant limitée dans le temps et ne couvre un appareil que s'il se maintient dans un angle de 5° par rapport à l'écran métallique. Le nom de code *Carpet* désigne quant à lui une technologie encore en évolution à la fin de la guerre : le brouillage électronique. Il s'agit d'un émetteur radio destiné à provoquer des interférences avec le radar de la FLAK. Cette version archaïque du brouilleur offensif est limitée dans son effet autant que dans sa portée (nulle au-delà de 2 miles).⁽²⁰⁾

Le dernier type de contre-mesures introduit par les Alliés est connu sous le nom de *hard-kill* et consiste en une frappe offensive, et pour ainsi dire, préventive sur les sites FLAK afin de les neutraliser physiquement et de manière définitive. La première mission de ce type visant à une élimination systématique des défenses aériennes a lieu lors de la préparation de l'opération Market-Garden, visant à mener une percée dans la profondeur du dispositif allemand, en employant notamment des moyens aéroportés⁽²¹⁾. Afin de dégager le terrain, près de 900 bombardiers de la *8th Air Force* sont mobilisés pour détruire 112 cibles identifiées grâce à un renseignement photographique détaillé. Des munitions à fragmentation sont utilisées afin de pallier la faible précision des bombardiers. Les Alliés ont également recours à des formations de chasseurs-bombardiers, beaucoup plus légères, capables d'attaquer en piqué les batteries avec une précision accrue mais également un risque très élevé de pertes — s'élevant jusqu'à 27% d'appareils détruits⁽²²⁾.

La première moitié du xx^e siècle jette donc les bases de la puissance aérienne occidentale. En introduisant la manœuvre dans la troisième dimension, l'arme aérienne a révolutionné l'art de la guerre, contribuant à abolir la notion de front et suscitant la réflexion sur la profondeur du champ opératif. En se rendant aussi centrale, la puissance aérienne stimule l'élaboration de contre-stratégies permettant sinon de la neutraliser, du moins de la contester et d'en atténuer les effets. L'introduction du radar a ainsi considérablement favorisé l'émergence de ces contre-stratégies, en leur permettant d'évoluer vers les premières formes de systèmes de défense aérienne intégrés. En retour, les premières réponses aux contre-stratégies voient le jour sous la forme de contre-mesures tactiques et technologiques, destinées à maintenir la suprématie aérienne.

(20) Passage adapté William A. Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD : the Wild Weasel in Vietnam*, Air University, Maxwell Air Force Base, AL, 1992, p. 6.

(21) Benoît Michel, « Les opérations aéroportées : la profondeur stratégique en question », *Focus stratégique* n° 37, mai 2012.

(22) Cité in W.A. Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD*, *op. cit.*, p. 8.

PARADES ET CONTRE-STRATÉGIES AÉRIENNES À L'ÂGE DU MISSILE (1945-1990)

À partir de la fin des années 1940, la mission de défense sol-air est de plus en plus souvent assignée à des missiles intercepteurs. Ce passage d'une défense sol-air fondée sur l'artillerie anti-aérienne à une défense adossée aux systèmes SAM constitue une première étape dans la complexification de la protection des forces aériennes. D'abord consignés à un rôle de défense stratégique à très longue portée, les SAM se diversifient progressivement pour couvrir des zones plus réduites (défense de zones et de points) et tenir un rôle plus tactique d'appui aux forces terrestres. De manière globale, la menace se diversifie donc, puisque les forces ayant pour mission de pénétrer un espace aérien sont confrontées à des réseaux de détection de plus en plus denses couplés à des moyens d'alerte avancée, à des intercepteurs, à de l'artillerie anti-aérienne, ainsi qu'à des missiles de portées, plafonds et planchers variables. Cette diversification est synonyme de complexité opérationnelle accrue pour l'attaquant, qui doit désormais faire face à une défense de plus en plus hermétique et lui impose d'allouer des ressources de plus en plus importantes aux missions SEAD avant de pouvoir affecter l'adversaire au sol.

DE LA DÉFENSE STRATÉGIQUE À LA DÉFENSE TACTIQUE

Très rapidement, des systèmes SAM sont en charge de la défense stratégique des territoires américain et soviétique, et ont pour mission d'intercepter les flottes de bombardiers qui constituent alors les seuls vecteurs de la dissuasion nucléaire.

En URSS, le traumatisme de Barbarossa (destruction de plus de 1 800 appareils soviétiques lors de l'attaque surprise allemande), le recours massif des alliés anglo-américains au bombardement stratégique pendant la seconde guerre mondiale et l'apparition de l'arme nucléaire imposent à Moscou de se prémunir face à la menace posée par les bombardiers stratégiques. Ainsi, la défense aérienne, sous la forme en particulier de systèmes sol-air, prend progressivement une place unique en Union soviétique. Elle a tout d'abord une vocation stratégique plutôt que tactique, qui se traduit par la mise en place de systèmes destinés à protéger Moscou, puis Leningrad.

La guerre de Corée ne voit pas la constitution, côté communiste, d'un système de défense aérienne efficace intégrant radars, systèmes sol-air et intercepteurs. Rapidement, la faiblesse relative des chasseurs soviétiques et l'adoption de tactiques de bombardement de nuit par les États-Unis encouragent Moscou à privilégier le développement de ses défenses sol-air. L'artillerie anti-aérienne, bien qu'elle soit à l'origine de 87% des pertes d'appareils américains, prend progressivement une place secondaire dans les efforts soviétiques en termes de défense aérienne, confortant la priorité accordée aux missiles sol-air en termes de recherche et de développement depuis la fin de la seconde guerre mondiale⁽²³⁾.

(23) Crabtree, *On Air Defense*, op. cit., p. 106.

Grâce à l'apport des scientifiques allemands, un système sol-air moyenne portée, le S-25 (SA-1) est développé, testé et mis en place autour de la capitale soviétique dès 1955. Si ce premier système connaît de nombreux défauts, il est vite complété par le développement du système S-75 *Dvina* (SA-2), qui doit pouvoir permettre une défense de Leningrad et d'autres centres industriels moins onéreuse que celle de Moscou, tout en étant capable de mener des interceptions à plus haute altitude (jusqu'à 27 000 mètres). Le 1^{er} mai 1960, le S-75 (SA-2) prouve son efficacité en abattant l'U-2 de Gary Powers qui volait à une altitude de 65 000 pieds, largement hors de portée des défenses sol-air traditionnelles (FLAK/AAA). Le S-75 connaît par la suite une diffusion à destination de plusieurs dizaines de pays et est employé lors des guerres du Vietnam, des Six Jours ou encore de Kippour (cf. *infra*)⁽²⁴⁾.

À partir des années 1960, les forces de défense aérienne soviétiques complètent leurs moyens en déployant des systèmes sol-air fixes de longue portée S-200 *Angara* (SA-5) et plusieurs systèmes SAM mobiles et de courte portée, dont le S-125 *Pechora* (SA-3), premier système intégrant des contre-mesures électroniques (CCME), ainsi que des systèmes *Krug* (SA-4) et *Kub* (SA-6). S'inscrivant dans la tradition militaire soviétique de l'art opératif née à la fin des années 1920, ces différents systèmes sont échelonnés en profondeur et combinés au sein de réseaux de contrôle et de commandement les reliant également à l'artillerie anti-aérienne, aux missiles sol-air portatifs et aux intercepteurs⁽²⁵⁾. Ainsi naissent les premiers systèmes de défense aérienne intégrée (SDAI) modernes et multicouches. Cette défense en « oignon » pose aux forces aériennes assaillantes des contraintes de plus en plus lourdes, tant en termes de profil de vol que d'armements et de contre-mesures électroniques indispensables. C'est au Vietnam qu'elle va connaître son expression la plus aboutie. Les difficultés rencontrées à cette occasion par l'*US Air Force* (USAF), qui subit de graves pertes aussi bien en combat aérien qu'en raison des défenses sol-air vietnamiennes, révèlent les conséquences opérationnelles d'une focalisation à outrance sur la seule mission de bombardement stratégique, qui draine une large part des budgets de recherche et développement, d'acquisition et de préparation opérationnelle des forces aériennes américaines⁽²⁶⁾.

LE TOURNANT VIETNAMIEN ET L'AVÈNEMENT D'UNE CONTRE-STRATÉGIE INTÉGRALE

La guerre du Vietnam est sans conteste un épisode crucial dans le développement des contre-stratégies aériennes. Pour la première fois depuis la seconde guerre mondiale, les États-Unis doivent affronter un adversaire qui s'oppose

(24) Steven J. Zaloga, « Defending the Capitals : The First Generation of Soviet Air Defense Systems, 1950-1960 », *The Journal of Slavic Military Studies*, vol. 10, n° 4, 1997, p. 30-43.

(25) David Miller, *The Cold War. A Military History*, Londres, Pimlico, 2001, p. 288-289.

(26) Carl H. Builder, *The Masks of War : American Military Styles in Strategy and Analyses*, Santa Monica, Rand Corporation, 1989 p. 136-138 ; Frederick W. Kagan, *Finding the Target. The Transformation of American Military Policy*, New York, Encounter Books, 2006, p. 26 ; Mike Worden, *Rise of the Fighter Generals, The Problem of Air Force Leadership, 1945-1982*, Alabama, Air University Press, 1998.

à sa puissance aérienne en employant l'ensemble des concepts opérationnels et des technologies disponibles⁽²⁷⁾. L'installation de systèmes SA-2 au Nord-Vietnam dès 1965 et l'emploi d'avions de combat modernes MiG-21 constituent évidemment un facteur essentiel dans les pertes importantes subies par les forces aériennes américaines⁽²⁸⁾. Mais le Nord-Vietnam et le Front national de libération (FNL), connu sous le terme de *Viêt-Cong*, excellent également à la neutralisation indirecte de la puissance aérienne en développant des formes de contre-stratégies passives telles que le durcissement, la dispersion ou encore la « défense idéologique »⁽²⁹⁾. La multiplication des contre-stratégies aériennes fait de la guerre du Vietnam un véritable laboratoire technologique et conceptuel qui continue encore aujourd'hui de peser sur les grands concepts opératifs.

L'ATTAQUE DES BASES AÉRIENNES ET L'ENGRENAGE AU SOL

Aux débuts de la guerre du Vietnam, le premier défi tactique posé à la puissance aérienne américaine ne se situe pas dans le ciel de Hanoï, ni même dans les procédés d'évitement du Delta du fleuve Rouge, mais sur les bases aériennes elles-mêmes. En effet, face à la persistance de l'insurrection communiste du FNL contre le gouvernement de Saïgon, le Président Lyndon B. Johnson accroît le déploiement à partir de 1964 d'appareils américains destinés à conduire des opérations d'interdiction sur la « piste Ho Chi Minh » qui rallie logistiquement le Nord-Vietnam au Sud ainsi que, dans une certaine mesure, des opérations d'appui aérien au profit de l'armée sud-vietnamienne.

Le 1^{er} novembre 1964, un commando Viêt-Cong attaque la base aérienne de Bien Hoa avec des tirs de mortiers. En moins de 20 minutes, vingt-sept appareils américains sont fortement endommagés dont une vingtaine de bombardiers B-57 *Canberra* – cinq d'entre eux totalement détruits – et quatre A-1H *Skyraider*. Quatre soldats américains et deux Sud-vietnamiens sont également tués dans l'attaque qui fait une vingtaine de blessés⁽³⁰⁾.

Alors que les attaques de ce type se multiplient, l'armée sud-vietnamienne se révèle incapable d'assurer la sécurité des bases américaines face à la menace de la guérilla. À la demande du général Westmoreland commandant le MACV, deux bataillons d'*US Marines* débarquent le 8 mars 1965, sur la base aérienne de Da Nang afin d'en assurer eux-mêmes la sécurité⁽³¹⁾. Ce débarquement des premières troupes de combat américaines au Vietnam est généralement considéré comme le point de départ de la « guerre américaine » dans la péninsule indochinoise.

(27) Merle L. Pribbenow II, « The – Ology War : Technology and Ideology in the Vietnamese Defense of Hanoi, 1967 », *op. cit.*

(28) Mark Clodfelter, *The Limits of Air Power. The American bombing of North Vietnam*, New York, The Free Press, 1989.

(29) Pribbenow, « The – Ology War », *op. cit.*

(30) Mark Clodfelter, *The Limits of Air Power. op. cit.*, p. 53 ; Jacob Van Staaveren, *Gradual Failure. The Air War Over North Vietnam, 1965– 1966*, Air Force History and Museums Program, USAF, Washington D.C, 2002, p. 59.

(31) Stanley Kranow, *Vietnam : A History*, New York, Penguin Books, 1997, p. 431.

Bien que le renforcement des périmètres de sécurité et le déploiement massif de forces terrestres limitent le succès des attaques de guérilla sur les bases aériennes au fur et à mesure que la guerre progresse, celles-ci demeurent sur l'ensemble de la période 1962-1973 la troisième cause de destruction d'appareils américains en combat, avec 96 appareils détruits⁽³²⁾. Cette menace irrégulière offensive contre les bases, exigeant de faibles moyens techniques et tactiques, entre donc avec le Vietnam dans le répertoire tactique des contre-stratégies aériennes asymétriques à fort rendement (*cf.* « Des infrastructures vulnérables », en *infra*).

DURCISSEMENT, DISPERSION ET INSTRUMENTALISATION POLITIQUE

Déjà largement utilisée pendant la seconde guerre mondiale, la défense passive est poussée à un nouveau degré pendant la guerre du Vietnam, attestant du potentiel des réponses asymétriques des contre-stratégies aériennes. De l'échelon le plus tactique à la perspective la plus stratégique, les communistes vietnamiens du Nord et du Sud rivalisent d'ingéniosité pour limiter les effets de l'*airpower*. Dès le début de l'année 1965 et le déclenchement de la campagne de bombardement progressif *Rolling Thunder*, la République démocratique du Vietnam (RDV) lance le programme de défense civile qui a pour objectif de construire des abris anti-aériens « pour chacun des 18 millions d'habitants du pays »⁽³³⁾. La ville de Hanoï est ainsi recouverte d'abris individuels cylindriques en béton. La pratique du durcissement est évidemment appliquée en priorité aux centres de commandement et de communication : les états-majors sont transférés dans des bunkers souterrains et les lignes de communication enterrées en profondeur. Certains centres de production industriels sont également placés dans des caves et des espaces abrités.

Mais c'est la dispersion qui constitue la principale tactique de défense passive dans le domaine de la protection civile et industrielle. Le 28 février 1965, les populations « non-essentiels » ainsi qu'une grande partie des systèmes de production sont évacués des grands centres urbains du Nord. Cette dispersion – accompagnée parfois de techniques de camouflage et de dissimulation – pèse considérablement sur l'efficacité du système productif nord-vietnamien, déjà affaibli par les restrictions du régime, mais elle échappe néanmoins à la destruction complète par la puissance aérienne américaine.

Au Sud, la guérilla du FNL s'adapte également à la domination aérienne américaine en systématisant le système de caches et de tunnels camouflés déjà employés contre les Français durant la guerre d'Indochine. Ainsi le durcissement s'accompagne ici d'un effort considérable de dissimulation. L'utilisation systématique de la végétation très dense des hauts plateaux et la préférence pour les déplacements et les mouvements nocturnes contribuent largement à

(32) The Air Force Association, *The Air Force in the Vietnam War*, Arlington, Aerospace Education Foundation 2004, p. 25. Voir tableau 2.

(33) Crabtree, *On Air Defense, op. cit.*, p. 133.

la réduction de la signature visuelle de la guérilla depuis les airs⁽³⁴⁾. Le silence radio est également rigoureusement appliqué dès lors que les communications sont interceptées par les services de renseignement américains (COMINT). Alors qu'à partir de la fin des années 1960, les États-Unis introduisent de nouvelles technologies, comme les capteurs infrarouges, afin d'identifier les entrées de tunnels, le Viêt-Cong développe en retour des réponses rustiques comme des systèmes d'aération destinés à réduire la température de l'air s'échappant de leurs abris⁽³⁵⁾.

Enfin, sur un plan politico-stratégique, la RDV et le FNL deviennent également maîtres dans l'art de l'exploitation médiatique à leur profit de la puissance aérienne. L'exposition par ces derniers sur la scène médiatique globale des destructions – au demeurant bien réelles – provoquées par les bombardements américains constitue dans une certaine mesure une victoire stratégique sur l'Amérique en guerre. L'image de l'actrice américaine Jane Fonda, photographiée en 1972 aux côtés d'une batterie de DCA incarne parfaitement l'incapacité des forces américaines à maîtriser l'image politique ternie de la campagne aérienne⁽³⁶⁾.

LE COMBAT AÉRIEN AU VIETNAM : UNE MANŒUVRE LIMITÉE MAIS INTÉGRÉE

Les contre-stratégies aériennes déployées pendant la guerre du Vietnam ne se limitent cependant pas à des techniques rustiques ou asymétriques. Pour la première fois de son histoire, l'USAF est confrontée à une flotte de chasseurs à réaction relativement modernes comme les quelques MiG-21, livrés par les Soviétiques à la RDV. Dans l'ensemble, les moyens et les effectifs de la chasse d'interception nord-vietnamienne restent cependant modestes, reposant pour l'essentiel sur des appareils MiG-15 et MiG-17 nettement moins performants.

En dépit de ces capacités limitées, l'armée de l'air du Nord-Vietnam met en œuvre une véritable contre-stratégie recourant au combat air-air, mais en l'intégrant au reste du dispositif de défense aérienne. À la manière de la guérilla au sol, les MiG vietnamiens pratiquent essentiellement des raids (*hit-and-run*) ponctuels sur des groupements d'appareils américains mal protégés⁽³⁷⁾. Les chasseurs américains de dernière génération étaient mal préparés au duel aérien du fait de leur confiance en leurs nouveaux missiles air-air longue portée (AIM-7 *Sparrow* et AIM-9 *Sidewinder*). Alors que la performance de ces missiles n'est pas à la hauteur de leurs espoirs, les Vietnamiens parviennent à s'approcher suffisamment des jets américains pour engager des duels aériens provoquant des pertes non-négligeables⁽³⁸⁾.

(34) Bernard C. Nalty, *Air War over South Vietnam, 1968–1975*, Air Force History and Museums Program USAF, Washington, 2000, p. 63.

(35) James Crabtree, *Guerrilla Air Defense : Antiaircraft Weapons and Techniques for Guerrilla Forces*, Paladin Press, 1996, p. 19.

(36) Thomas Rid, *War and Media Operations. The US military and the Press from Vietnam to Iraq*, London, New York, Routledge, p. 59

(37) Clodefleter, *The Limits of Air Power*, *op. cit.*, p. 131.

(38) Crabtree, *On Air Defense*, *op. cit.*, p. 134 ; Pribbenow, « The – Ology War », *op. cit.*, p. 192.

Mais c'est peut-être le recours à des tactiques indirectes qui rend l'emploi du combat air-air intéressant au Vietnam : suite à d'importantes pertes au cours de l'année 1967, les MiG-21 sont utilisés de plus en plus comme des éclaireurs, et des observateurs avancés destinés à transmettre les positions et profils de vol aux batteries d'artillerie et de missiles sol-air. Dans certains cas, ils jouent même le rôle d'appâts ou de « rabatteurs », manœuvrant les chasseurs-bombardiers F-105 américains pour les amener à portée de batteries SAM dissimulées. La manœuvre, connue sous le nom de *flak trap*, impose une bonne déconffliction et une forte intégration de la chasse à la défense sol-air⁽³⁹⁾.

D'une manière plus générale, il convient de comprendre l'action de la chasse nord-vietnamienne moins dans une stratégie directe d'interdiction que dans une perspective indirecte d'attrition. Mais il s'agit aussi de « forcer l'ennemi à accroître ses escortes de chasseurs et ainsi à réduire ses ressources allouées au bombardement »⁽⁴⁰⁾. La simple menace en puissance (*threat in being*) d'une chasse ennemie limite donc la marge de manœuvre de l'arme aérienne.

LA MENACE SOL-AIR ET LA NAISSANCE DU SEAD MODERNE

Mais le principal outil de la contre-stratégie aérienne au Vietnam est assurément la défense active sol-air, qu'elle repose sur l'artillerie anti-aérienne (DCA) ou les missiles (SAM). Si la littérature se concentre généralement sur les seconds, il importe de souligner d'abord que l'artillerie et les armes légères représentent à elles seules plus de la moitié des pertes de l'USAF avec 1 443 appareils abattus entre 1962 et 1973⁽⁴¹⁾. Ce bilan de la DCA s'explique en partie par l'importance des missions d'appui aérien rapproché (CAS) au profit des forces américano-sud-vietnamiennes dans leurs opérations de contre-insurrection au Sud. Celles-ci, imposant des profils de vol relativement lents et à basse altitude, est ainsi synonyme d'une plus grande vulnérabilité des appareils aux tirs d'armes à courte portée, maniables par une guérilla⁽⁴²⁾. Au Nord, les tactiques de bombardement cherchant à améliorer la précision impliquent également de la part des chasseurs-bombardiers des frappes en piqué, pénétrant largement dans la portée des canons à cadence rapide de 37 et 57 mm, considérés comme les plus efficaces de la défense vietnamienne – au contraire des vieux canons de 100 mm, considérés comme « largement inefficaces »⁽⁴³⁾. Jusqu'au développement de munitions à guidage terminal, la nécessité de réduire l'altitude au moment de la frappe reste la principale cause de pertes en combat⁽⁴⁴⁾. Enfin, la menace SAM, considérée comme inefficace au-dessous de 3 000 pieds (environ 1 000 mètres), a pu

(39) Pribbenow, « The – Ology War », *op. cit.*, p. 195. Voir également James Crabtree, *Guerrilla Air Defense*, *op. cit.*, p. 45.

(40) Pribbenow, « The – Ology War », *op. cit.*, p. 186.

(41) Voir tableau 2 ; voir également Crabtree, *On Air Defense*, *op. cit.*, p. 139.

(42) Tenenbaum, « Entre ciel et terre. Le débat air-sol et les défis de l'appui-feu », *op. cit.*

(43) Pribbenow, « The – Ology War », *op. cit.*, p. 176-177.

(44) La *Paveway I*, première munition guidée laser, est introduite en 1968. Paul G. Gillespie, *Weapons of Choice. The Development of Precision Guided Munitions*, Tuscaloosa, The University of Alabama Press, 2006, p. 112.

pousser les appareils américains à voler plus bas et ainsi à s'exposer davantage aux tirs d'artillerie.

En dépit de ce bilan non-négligeable de la DCA, c'est donc la menace SAM qui ressort comme l'innovation la plus importante de la guerre du Vietnam en matière de contre-stratégie aérienne. Les premiers SAM sont introduits au Vietnam sous la forme de systèmes S-75 *Dvina* (SA-2) au début de l'année 1965, suite à un changement d'attitude de l'Union soviétique à l'égard de la cause vietnamienne. Déployés autour de Hanoï, les premiers SA-2 entrent en service en avril et connaissent leur premier engagement le 24 juillet 1965 au cours duquel ils abattent un F-4C *Phantom* de l'USAF⁽⁴⁵⁾. La multiplication des systèmes amène le Nord-Vietnam à disposer d'environ 300 sites de SA-2, couvrant la plus grande partie du pays. Si l'on y ajoute les plus de 7 000 batteries de DCA (la plupart disposant de radars d'engagement) et la cohésion de l'ensemble avec un système soviétique de radars de détection avancée (GCI), la RDV disposait en effet de l'un des SDAI les plus avancés au monde⁽⁴⁶⁾.

Face à ce défi de taille, les forces aériennes américaines doivent s'engager dans un nouveau processus d'adaptation technologique et tactique connu sous le nom de *Wild Weasel* et destiné à récupérer des marges de manœuvre – faute de quoi le taux d'attrition pour pénétrer dans l'enveloppe deviendrait vite insupportable. La priorité technologique des *Wild Weasel* est donnée au développement de récepteurs d'alerte et de détection radars embarqués à bord des chasseurs et capables d'informer le pilote de manière discriminée de la menace subie par l'appareil. Un écran circulaire placé dans le cockpit vient ainsi indiquer la présence d'un signal électromagnétique hostile, sa distance de la cible, et sa nature (SAM, DCA, radar d'alerte avancée), déterminée en fonction de la forme d'onde. Le système est complété par un indicateur de lancement informant du passage en mode de tir du SAM⁽⁴⁷⁾.

Ces technologies de détection sont employées pour la première fois à la fin de l'année 1965 par des F-100F *Supersabre* biplaces au cours de missions baptisées *Iron Hand* et destinées à repérer puis détruire des sites SA-2. Ces missions extrêmement dangereuses impliquent de pénétrer dans l'enveloppe du SA-2 puis de se soustraire à sa détection par un vol à basse altitude au risque de s'exposer à des tirs de DCA. Enfin, une identification visuelle doit venir compléter l'approximation du détecteur radar, impliquant une plus longue présence dans l'enveloppe et donc un plus grand risque pour l'appareil⁽⁴⁸⁾.

Ces limitations sont en partie dépassées au printemps 1966 avec l'introduction d'une nouvelle version du *Wild Weasel*, désormais montée sur F-105 *Thunderchief* et associée à une nouvelle munition : l'AGM-45 *Shrike*. Ce missile

(45) Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD : the Wild Weasel in Vietnam*, op. cit., p. 1.

(46) Clodfelter, *The Limit of Air Power*, op. cit., p. 131

(47) Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD : the Wild Weasel in Vietnam*, op. cit., p. 22.

(48) Richard P. Hallion, *Storm over Iraq. Air Power and the Gulf War*, Washington, Smithsonian Institution Press, 1992, p. 55-62; Benjamin S. Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, Ithaca, Cornell University Press, 2000, p. 37-39, 73-77.

à guidage radar passif est le produit d'un programme de recherche de l'*US Navy* lancé en 1958. Avec une portée effective de 20 km – contre 45 km pour le SA-2 – ce dernier ne permet pas de tir à distance de sécurité mais limite néanmoins le temps de présence dans l'enveloppe, tandis que son système de guidage assure une bonne précision à la frappe. Sur le plan tactique, le *Shrike* impose cependant d'être tiré d'une certaine altitude et à une vitesse réduite, rendant ainsi l'avion plus vulnérable au moment de sa frappe⁽⁴⁹⁾.

Une nouvelle étape est franchie deux ans plus tard avec l'introduction de l'AGM-78 *Standard* portant à plus de 50 km et disposant d'une vitesse de vol plus élevée. Parallèlement, une amélioration de l'avionique des *Wild Weasel* rend leur action également plus manœuvrante et augmente leur survivabilité. Au cours de l'année 1972 – date de la reprise des frappes sur le Nord-Vietnam après leur suspension en 1968 – plus de 2 300 missiles AGM-45/78 sont tirés permettant la destruction de « plusieurs centaines » de sites SA-2. Mais c'est surtout leur caractère dissuasif qui est mis en avant, la présence de *Wild Weasels* en amont des escadrons de frappes incitant les opérateurs SAM à éteindre leurs radars d'engagement, se rendant ainsi largement inopérants.

Ces progrès dans les missions de destruction des défenses aériennes (DEAD) s'accompagnent également d'avancées dans le domaine de la guerre électronique avec l'introduction de nouvelles nacelles de brouillage (ALQ-75, -77 et -87) montées sur les EA-6B *Prowler* de l'*US Navy* introduits en 1971 et bientôt complétés par les EF-111A *Raven* de l'*USAF*. Mais en attendant la maturation technique et tactique de ces innovations, le bilan de la guerre du Vietnam est celui d'un rééquilibrage stratégique en faveur du défenseur et d'une sérieuse remise en cause de la puissance aérienne. La perte de plus de 2 200 avions pour la seule *Air Force* (voir le tableau 2) face à un adversaire jugé nettement inférieur, démontre l'émergence d'une nouvelle donne opérationnelle.

TABLEAU 2 : PERTES DE L'USAF AU COURS DE LA GUERRE DU VIETNAM (1962-1973)

Année	DCA	SAM	Attaques sur les bases	Combat air-air	Autres	Accidents	Total
1962-1965	298	9	21	4	–	125	457
1966	276	26	6	16	–	77	401
1967	275	19	45	22	10	91	462
1968	234	–	14	–	1	77	326
1969	177	–	3	1	–	76	257
1970	73	2	1	–	–	27	103
1971	72	24	2	14	1	19	132
1972	38	30	4	10	9	25	116
1973	–	–	–	–	–	1	1
Total	1 443	110	96	67	21	518	2 255

Source : *USAF Operational Summary*, novembre 1973 cité in "The Air Force Association", *The Air Force in the Vietnam War*, Arlington, Aerospace Education Foundation, 2004, p. 25.

(49) Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD : the Wild Weasel in Vietnam*, op. cit., p. 23-24.

LES LEÇONS DU VIETNAM ET DE KIPPOUR ET LA NOUVELLE DONNE OPÉRATIONNELLE

Les enseignements tirés du Vietnam dans le domaine aérien sont rapidement complétés par ceux de la guerre israélo-arabe, dite de Kippour, d'octobre 1973⁽⁵⁰⁾. Dans la lignée du Vietnam, Kippour atteste du changement radical introduit par l'emploi des SAM sur le champ de bataille : alors qu'en 1967, l'aviation israélienne avait pu opérer en toute liberté dans le ciel du Sinaï, elle perd trente avions dans les quatre premiers jours de 1973⁽⁵¹⁾. En six ans, l'adversaire égyptien à lui seul a multiplié par six le nombre de systèmes SAM dont il dispose, complétant son stock de SA-2 et de SA-3 à longue portée par des 2K12 *Kub* (SA-6) à moyenne portée (35 000 pieds) mais plus mobiles, plus précis et disposant de nouvelles contre-mesures électroniques (CCME) face au brouillage défensif des appareils israéliens. Enfin, des systèmes courte portée à guidage infrarouge et extrêmement mobiles SA-7, SA-8 et SA-9 (pour le premier, portable par un seul individu), viennent accroître la létalité de la basse couche⁽⁵²⁾.

Face à cette densification du SDAI, les Israéliens font appel aux contre-mesures américaines développées au Vietnam, mais celles-ci – qu'il s'agisse du brouillage électronique ou du missile antiradar AGM-45 *Shrike*, délivré au cours de la guerre – sont optimisées pour les SA-2 et se révèlent peu efficaces contre les SA-6. Sur l'ensemble de la guerre, Israël perd ainsi un tiers de sa force aérienne – 97 appareils – du seul fait des défenses sol-air égyptiennes et syriennes⁽⁵³⁾. D'une manière générale, et comme au Vietnam, la véritable victoire des SAM réside davantage dans leur action indirecte de « diversion » de la puissance aérienne dans la mission de lutte contre les défenses sol-air : compte tenu de la limitation des ressources, l'accroissement des missions SEAD réduit d'autant plus les missions aériennes offensives au profit des forces terrestres ou de la campagne stratégique. Les guerres du Vietnam et de Kippour attestent donc d'une nouvelle transformation de l'équilibre attaque-défense, révisant nettement à la baisse les marges de manœuvre et les capacités d'action des forces aériennes dans un environnement contesté et face à un SDAI moderne⁽⁵⁴⁾.

LA RÉPONSE AU DÉFI SOVIÉTIQUE ET L'OFFSET STRATEGY AMÉRICAINE

La nouvelle donne opérationnelle au milieu des années 1970 constitue à moyen terme une perspective dramatique pour le camp occidental⁽⁵⁵⁾. La focalisation des armées américaines sur la préparation d'une troisième guerre mondiale face au Pacte de Varsovie en Europe centrale contribue à injecter

(50) James Digby, « Precision-Guided Weapons », *Adelphi Papers*, n° 118, 1975, p. 1.

(51) Anthony H. Cordesman et Abraham R. Wagner, *The Lessons of Modern War. The Arab-Israeli Conflicts, 1973-1989*, vol. 1, Boulder, Westview Press, 1990, p. 74-84.

(52) Martin van Creveld, *Military Lessons of the Yom Kippour War : Historical Perspectives*, The Washington Papers, vol. 3, n° 24, CSIS, London, Sage Publications, 1975, p. 30-32.

(53) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 55-56.

(54) Robert R. Tomes, *US Defense Strategy from Vietnam to Operation Iraqi Freedom. Military Innovation and the New American Way of War, 1973-2003*, Abingdon, Routledge, 2007, p. 53-55.

(55) Miller, *The Cold War. A Military History*, *op. cit.*, p. 288.

des sommes massives dans la modernisation des capacités conventionnelles, et par là même à poser les jalons de la supériorité aérienne occidentale dans l'après-guerre froide.

Les années 1970-1980 voient l'introduction, du côté soviétique, de systèmes sol-air de plus en plus nombreux, mobiles et autonomes. Les SA-8, SA-11, ou encore les SA-19 sont conçus pour accompagner l'avance des formations terrestres de l'URSS et protéger celles-ci dans un environnement tactico-opérationnel dans lequel Moscou ne pense pas pouvoir rivaliser d'égal à égal avec l'OTAN dans le domaine aérien. La multiplication des couches a pour but à la fois de saturer l'espace aérien de projectiles létaux pour les forces aériennes occidentales et de répondre à certaines des innovations tactiques et technologiques américaines qui semblent menaçantes. En particulier, l'incapacité des premiers systèmes SAM à conduire des interceptions en deçà de plusieurs dizaines, voire centaines de mètres, expose dangereusement l'Union soviétique et le Pacte de Varsovie au risque d'attaques de bombardiers dotés de capacités de pénétration à basse altitude⁽⁵⁶⁾, fortement accrues par la mise au point de radars de suivi de terrain, ainsi que par le déploiement des missiles de croisière à longue portée. Si la diversification des moyens sol-air de basse altitude permet de fournir une défense localisée, le développement de la famille de missiles SAM stratégiques de type S-300 doit offrir à la fois une couverture vaste, un suivi et un traitement de plusieurs cibles simultanées et des capacités d'interception à basse comme à haute altitude⁽⁵⁷⁾.

La période est en effet marquée, aux États-Unis, par une intensification des efforts destinés à assurer la capacité de pénétration des espaces aériens ennemis, capitalisant sur les leçons des expériences du Vietnam et de Kippour. Ces efforts s'inscrivent dans une réorientation de la posture américaine qui fait de la technologie un « multiplicateur de force » (*force multiplier*) offrant aux forces de l'OTAN la possibilité de résister à un adversaire numériquement supérieur, dont on redoute le style opératif offensif extrêmement « manœuvrier ». L'*offset strategy* adoptée sous l'administration Carter apporte un soutien durable à des programmes de la DARPA qui s'avèrent décisifs dans l'acquisition et la conservation à long terme de la supériorité aérienne américaine. C'est par exemple à cette époque que sont lancés les programmes clés dans le domaine des capteurs électromagnétiques qui aboutissent à des systèmes de détection et de commandement aéroportés (AWACS) tels que l'E-3 *Sentry* en 1977 et, plus tardivement à des systèmes d'acquisition et de surveillance terrestre de l'E-8 JSTARS. Dans le domaine aérien, les progrès accomplis se traduisent également en matière de munitions de précision, de neutralisation des défenses aériennes et de réduction de la Surface équivalente radar (SER) des appareils américains⁽⁵⁸⁾.

(56) On rappellera que le radar de suivi de terrain du B-1B, lorsque ce dernier était encore utilisable pour conduire des missions à vocation nucléaire, permettait une pénétration en territoire ennemi à une altitude de 60 mètres. Voir *B-1B Fact Book*, North American Aircraft Rockwell International, 1995, p. B-5.

(57) Pavel Podvig (dir.), *Russian Strategic Nuclear Forces*, Cambridge, MIT Press, 2001, p. 407-408.

(58) Schématiquement, la SER d'un objet indique son degré de visibilité sur les écrans radar. Richard Van Atta et al., *Transformation and Transition : DARPA's Role in Fostering an Emerging Revolution in Military Affairs*. Volume 2 : Detailed Assessments, Alexandria, Institute for Defense Analyses, 2003, p. 5-9.

Les capacités DEAD sont également développées *via* les nouvelles munitions d'attaque au sol, qu'il s'agisse de missiles antiradar (l'AGM-88 *High Speed Anti-Radiation Missile* (HARM) est introduit en 1984 en remplacement de l'AGM-78 *Standard*), de bombes destinées à la neutralisation de pistes aériennes, d'armements à guidage laser, TV ou radio, ou d'armes à sous-munitions à guidage terminal infrarouge : la préparation des opérations face au Pacte de Varsovie semble requérir les moyens les plus variés, ayant en commun une tendance à un allongement de la portée et à un guidage de plus en plus autonome. De la sorte, une proportion croissante de ces munitions peut être tirée à distance de sécurité, évitant aux aéronefs de pénétrer dans la zone de menace sol-air⁽⁵⁹⁾. Le développement de capacités « tire et oublie » (*fire & forget*) est également une évolution centrale.

En réponse à la létalité croissante de l'environnement aérien illustrée au cours des récents engagements conventionnels, la réaction de l'USAF est double. Dans un premier temps, elle consiste à perfectionner les capacités de neutralisation des défenses aériennes (SEAD), déjà testées avec succès au Vietnam. Ces capacités reposent alors sur la combinaison de systèmes de contre-mesures électroniques (brouillage offensif et défensif des radars adverses, leurres, etc.) et des premiers missiles antiradar, qui souffrent encore de leur portée relativement faible⁽⁶⁰⁾.

Craignant que le recours aux seules capacités SEAD offensives ou défensives ne permette plus d'assurer une protection suffisante de ses appareils, l'USAF opte alors pour une approche complémentaire, la réduction de la SER de certains de ses aéronefs⁽⁶¹⁾. Dès 1974, la DARPA encourage les principales industries aéronautiques américaines à initier des programmes s'inscrivant dans cette voie. Les résultats obtenus par les essais du démonstrateur *Have Blue*, en décembre 1977, et l'accent mis sur l'*offset strategy* aboutissent à la décision de développer, puis de produire le F-117, premier chasseur-bombardier « furtif » de l'histoire dont le premier exemplaire sort des usines de Lockheed en 1982⁽⁶²⁾. C'est également à cette période qu'est lancé le programme qui aboutit à la fin des années 1980 à la production des premiers B-2⁽⁶³⁾. Les technologies furtives

(59) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 76-78.

(60) Ces moyens dédiés complètent d'autres options plus « rustiques » déjà utilisées avant leur apparition, consistant par exemple à éviter l'enveloppe de menace des systèmes sol-air en volant au dessus ou en dessous des faisceaux radars. David Burbach, Brendan Rittenhouse Green et Benjamin H. Friedman, « The Technology of the Revolution in Military Affairs », in Sapolsky, Benjamin H. Friedman et Brendan Rittenhouse Green (dir.), *US Military Innovation since the Cold War. Creation Without Destruction*, Londres, Routledge, 2009, p. 29-30.

(61) Kagan, *Finding the Target*, *op. cit.*, p. 33.

(62) Van Atta *et al.*, *Transformation and Transition. Volume 2 : Detailed Assessments*, *op. cit.*, p. I-6-I-7.

(63) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 73-75 ; Tomes, *US Defense Strategy from Vietnam to Operation Iraqi Freedom*, *op. cit.*, p. 79-80.

développées permettent ainsi initialement de réduire de 95% le volume de la zone dans laquelle les défenses sol-air peuvent engager leur cible⁽⁶⁴⁾.

En parallèle, l'*Air Force* met l'accent sur un entraînement extrêmement poussé des pilotes après que le Vietnam révèle que « l'immense majorité des pilotes perdant la vie au combat avaient participé à moins de dix missions »⁽⁶⁵⁾. Le programme d'exercices *Red Flag*, lancé en 1978 – dix ans après son équivalent de l'aéronavale, *Top Gun* – doit ainsi offrir aux pilotes un environnement à la fois réaliste et sécurisé au sein duquel mener l'équivalent de ces huit à dix premières missions⁽⁶⁶⁾. À travers *Red Flag* et les formations *Aggressor* (plastron), l'USAF s'efforce de mieux comprendre les pratiques de l'adversaire, de développer des réponses adaptées, et plus généralement de perfectionner sa maîtrise du combat aérien, des frappes air-sol ou encore des capacités de neutralisation (SEAD) et d'évitement de la menace sol-air (vols rasants)⁽⁶⁷⁾.

L'ÉMERGENCE DE LA DOMINATION AÉRIENNE OCCIDENTALE

L'ampleur des progrès accomplis en termes de SEAD apparaît notamment en 1982 lors de l'opération *Paix en Galilée*, au cours de laquelle l'armée de l'air israélienne démontre avoir largement bénéficié des avancées américaines – en plus de sa propre expérience. Dès les premiers jours de l'offensive, l'armée de l'air israélienne, qui a retenu les leçons de Kippour, cherche à s'assurer de la maîtrise de l'air et de la neutralisation des sites syriens de missiles sol-air établis dans la vallée libanaise de la Bekaa. Le 9 juin 1982, l'opération *Mole Cricket 19* neutralise en moins d'une heure 17 des 19 sites de SA-6 syriens, auxquels s'ajoutent plusieurs autres sites de SA-2 et SA-3, ainsi que la destruction de 85 chasseurs syriens, alors même que les forces aériennes israéliennes ne déplorent la perte d'aucun appareil.

Pour obtenir un tel résultat, Israël a mobilisé l'ensemble des technologies occidentales, plus ou moins modernes, disponibles en matière de SEAD : des renseignements abondants obtenus par l'emploi d'avions de renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) ; des systèmes de guerre électronique (*via* de nouveaux pods de brouillage mais également de vieilles méthodes telles que le *chaff*) ; des missiles antiradar et à guidage de précision (les AGM-45 *Shrike* et -78 *Standard*) ; de plateformes d'alerte avancée et de C3 aéroportées (E-2C) ; des profils de vol à basse altitude recourant au terrain pour éviter la détection radar et pénétrer dans l'enveloppe des SAM rendus possibles par des appareils modernes et manœuvrants (F-4G et F-16) ; ainsi que des tirs d'artillerie longue portée. Enfin Israël y introduit pour la première un nouveau type de plateforme appelé à connaître un grand succès dans le domaine aérien : des

(64) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 155. Progressivement, la furtivité se complexifie, à mesure que les technologies destinées à réduire la SER se doublent d'autres dispositions ayant pour rôle de diminuer la signature infrarouge des appareils. Michael O'Hanlon, *Technological Change and the Future of Warfare*, Washington, Brookings Institution Press, 2000, p. 71.

(65) Tomes, *US Defense Strategy from Vietnam to Operation Iraqi Freedom*, op. cit., p. 83.

(66) *Ibid.*, p. 83 ; Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 62.

(67) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 60-70.

avions pilotés à distance (RPV) ou drones, adoptés par Tsahal dès les lendemains de la guerre de Kippour. Ces nouvelles plateformes développées par la jeune industrie de défense israélienne sont employées comme leurres (ADM-141/TALD), mais aussi à des fins de reconnaissance visuelle ou électronique (IAI *Scout* et Tadiran *Mastiff*). Même s'il faut le compenser par des erreurs, le bilan impressionnant des Israéliens au cours de *Mole Cricket 19* traduit les progrès considérables accomplis par le camp occidental en matière de SEAD depuis la fin de la guerre du Vietnam⁽⁶⁸⁾.

Ce retour stratégique de la domination aérienne occidentale — qui perdure jusqu'à aujourd'hui — s'exprime à nouveau le 15 avril 1986 à l'occasion d'un raid aérien américain contre le régime de Kadhafi, en réponse à l'attentat mené dans une discothèque fréquentée par des militaires américains. En dépit de difficultés politiques entourant son exécution, l'opération *El Dorado Canyon* mobilise ainsi des appareils de l'*Air Force* et de la *Navy* équipés de bombes à guidage laser et des tout nouveaux missiles antiradar HARM à haute vélocité afin de neutraliser la défense sol-air libyenne et de frapper des installations militaires⁽⁶⁹⁾. Bien que certaines missions n'aient pas été parfaitement remplies, l'opération menée de nuit dans des conditions opérationnelles difficiles est une réussite⁽⁷⁰⁾. Surtout, elle confirme l'amélioration constante et significative des capacités de pénétration des espaces aériens par les forces aériennes américaines.

La seconde moitié du xx^e siècle a donc vu une remise en cause en profondeur de la puissance aérienne : les progrès des défenses actives (missiles, radars, etc.) et les procédés d'évitements asymétriques ont pu laisser entrevoir à certains stratèges des années 1970 la « prochaine mort des forces aériennes »⁽⁷¹⁾. Cependant la révolution des technologies de l'information au cours de cette même décennie et le développement d'une stratégie génétique sous l'impulsion américaine parviennent largement à renverser cette tendance et à revenir et même à dépasser l'avantage initial des pays occidentaux dans le domaine aérien. À bien des égards, les opérations *Mole Cricket 19* et *El Dorado Canyon* annoncent ainsi la naissance d'une nouvelle ère de suprématie aérienne occidentale dont l'avènement coïncide exactement avec l'effondrement de la puissance soviétique et, avec elle, du système international bipolaire âgé de près de cinquante ans. Cette nouvelle domination de l'arme aérienne va s'exprimer de manière paroxystique dans le ciel irakien en 1991, à l'occasion de la première guerre du Golfe⁽⁷²⁾.

(68) Cordesman et Wagner, *The Lessons of Modern War. Volume I*, op. cit., p. 186-193 ; Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 92-96.

(69) Hewitt, *Planting the Seeds of SEAD*, op. cit., p. X

(70) Gillespie, *Weapons of Choice*, op. cit., p. 133 ; Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 100-102.

(71) Adam J. Hebert, « The False Death of Airpower », *Air Force Magazine*, n° 4, August 2011, p. 4.

(72) Kagan, *Finding the Target*, op. cit., p. 94, 100.

CONTESTER LA SUPÉRIORITÉ AÉRIENNE OCCIDENTALE DANS L'APRÈS-GUERRE FROIDE

Les années 1990 s'ouvrent sur la démonstration de la puissance militaire américaine, et en particulier de l'efficacité des innovations lancées depuis les années 1970. Le succès écrasant de la coalition qui libère le Koweït au cours de la « guerre de cent heures » donne l'impression qu'un progrès révolutionnaire a été accompli dans le domaine du combat interarmées en général, et dans celui de la puissance aérienne en particulier. Dès lors, *Desert Storm* sert de point de référence aussi bien pour les forces armées occidentales que pour leurs adversaires, qui en examinent les réussites et les limites, posant les bases de stratégies de contestation de la puissance aérienne qui sont notamment utilisées dans les Balkans. Si les phases conventionnelles des opérations *Enduring Freedom* et *Iraqi Freedom*, pourtant menées avec des finalités plus ambitieuses, n'ont rencontré qu'une opposition faible en termes de défense aérienne, leurs suites ont quant à elles réaffirmé l'attrait de contre-stratégies aériennes recourant au mode stratégique indirect.

DESERT STORM COMME POINT DE RÉFÉRENCE

Comme lors d'*El Dorado Canyon*, *Desert Storm* débute par une phase de neutralisation des défenses aériennes (SEAD), dont le succès conditionne la progression du plan de guerre général. La défense sol-air irakienne de janvier 1991 est constituée du système de défense aérienne intégré (SDAI) KARI et de son réseau de batteries qui, à défaut de s'appuyer sur les technologies les plus récentes, est extrêmement dense. Ainsi, KARI représente près de 7 000 missiles sol-air à guidage radar et de 9 000 autres SAM infrarouges, auxquels il convient d'ajouter près de 7 000 canons anti-aériens⁽⁷³⁾. Les environs de Bagdad comportent ainsi, après Moscou, la concentration la plus dense de systèmes de défense sol-air au monde⁽⁷⁴⁾.

La phase initiale de l'opération voit ainsi un raid nocturne d'hélicoptères des forces spéciales américaines et de l'*Army* neutraliser plusieurs radars irakiens d'alerte avancée, de manière à créer un couloir de pénétration, qui sert ensuite aussi bien aux missions de « chasse aux SCUD » qu'aux autres missions de natures variées composant la première vague d'assaut sur l'Irak⁽⁷⁵⁾. Cette première vague est précédée de deux types de plateformes : d'une part, les chasseurs-bombardiers F-117, dont la furtivité permet de disposer de la surprise tactique en frappant au cœur de Bagdad dès la première nuit, sans que leur approche ait été détectée ; d'autre part, des drones, qui sont employés par vagues afin de provoquer la défense aérienne irakienne et d'inciter les opérateurs des radars des batteries SAM à activer leurs systèmes dont les émissions

(73) John Andreas Olsen, *Strategic Air Power in Desert Storm*, Londres, Frank Cass, 2003, p. 241.

(74) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 110.

(75) Alberto Bin, Richard Hill et Archer Jones, *Desert Storm. A Forgotten War*, Westport, Praeger, 1998, p. 85-86, 90-91.

les exposent immédiatement, en retour, aux missiles antiradar de la coalition, HARM américain ou ALARM britannique⁽⁷⁶⁾.

Après moins d'une semaine, les émissions des radars de recherche et d'alerte avancée de la défense sol-air irakienne ont chuté de 95%⁽⁷⁷⁾. Rapidement, les seules défenses sol-air utilisables par les forces irakiennes sont la DCA et quelques SAM en dotation dans la Garde républicaine. La menace posée par le système KARI a ainsi très vite été neutralisée par la coalition – les rares portions du dispositif pouvant encore fonctionner étant dissuadées de le faire⁽⁷⁸⁾.

Cette efficacité est également rendue possible par le recours massif à la guerre électronique, considérée comme indispensable en raison de la marge de sécurité supplémentaire qu'elle procure aux pilotes de la coalition. Brouillant les radars irakiens d'alerte avancée et d'acquisition de cibles, ces capacités sont ainsi mobilisées afin de soutenir tous les types d'opérations aériennes, à la seule exception des F-117, dont la faible SER constitue une protection jugée suffisante⁽⁷⁹⁾. Une fois achevée la première phase SEAD, le brouillage offensif des EA-6B *Prowler*, EF-111A *Raven* et EC-130 *Compass Call* américains offre aux formations aériennes occidentales une protection suffisante pour opérer sans crainte des batteries sol-air irakiennes, ainsi aveuglées⁽⁸⁰⁾.

La résistance opposée par les forces aériennes irakiennes est tout aussi faible : du fait d'un entraînement et d'un équipement inférieurs, le nombre d'appareils neutralisés lors des combats aériens de la première semaine est tel qu'il dissuade le reste de l'aviation militaire irakienne de tenter d'attaquer la coalition, encourageant les pilotes à tenter de trouver refuge en Iran avec leurs appareils⁽⁸¹⁾. Après une semaine d'opérations, la coalition – les États-Unis au premier chef – s'est rendue maîtresse des cieux. Le contrôle qu'elle exerce sur cette troisième dimension est ensuite exploité tout au long de la guerre afin de frapper au cœur du système irakien et de détruire le potentiel militaire du pays – en priorité celui étant déployé dans ou à proximité du théâtre des opérations koweïtien.

Ce faisant, les spécificités de cette guerre tendent, dans un premier temps au minimum, à être ignorées ou passées sous silence, alors même qu'elles contribuent à expliquer ses résultats exceptionnels. À bien des égards, en effet, les résultats de *Desert Storm* s'expliquent par la conjonction d'un renforcement de la puissance militaire américaine, d'un terrain avantageant celle-ci et, surtout, des faiblesses intrinsèques des forces et de la posture irakiennes. Le caractère

(76) Thomas A. Keaney et Eliot A. Cohen, *Revolution in Warfare? Air Power in the Persian Gulf*, Annapolis, Naval Institute Press, 1995, p. 165. 200 missiles HARM sont tirés au cours de la première nuit de combat, 500 au cours des premières 24 heures. La majorité des 2 000 missiles de ce type employés au cours de la guerre est tirée au cours de la première semaine d'opérations. *Idem*, p. 195 ; Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 112.

(77) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 112.

(78) Keaney et Cohen, *Revolution in Warfare?*, *op. cit.*, p. 48, 195.

(79) *Idem*, p. 164.

(80) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 149.

(81) *Idem*, p. 110, 113-117.

exceptionnellement favorable de la guerre du Golfe est souligné dans certains documents officiels tels que le *Gulf War Air Power Survey*, dans lequel Barry Watts rappelle qu'il s'agit de « circonstances tellement idéales qu'elles se rapprochent des meilleures conditions que l'on pourrait espérer trouver dans n'importe quel conflit futur »⁽⁸²⁾. Malgré cela, *Desert Storm* est perçue comme l'indicateur qu'un changement est à l'œuvre dans l'art de la guerre, et occasionne une véritable « révolution des attentes » des élites politico-militaires quant à l'avenir des conflits armés⁽⁸³⁾.

LA CONTESTATION DE LA COERCITION AÉRIENNE DANS LES BALKANS

Si la réussite de la phase SEAD de *Desert Storm* est flagrante, les leçons de la guerre n'échappent pas aux adversaires des États-Unis : les années suivant la guerre du Golfe sont marquées par une augmentation de la demande de systèmes sol-air modernes, d'une portée de plus en plus longue, et si possible mobiles⁽⁸⁴⁾. L'intérêt croît également rapidement pour les équipements défensifs censés être capables d'effectuer des interceptions contre des appareils furtifs ou des missiles de croisière, deux éléments perçus comme cruciaux dans *Desert Storm*⁽⁸⁵⁾. Plus fondamentalement, la SEAD a pu se déployer dans toute son efficacité en Irak car l'adversaire a été quasi-totalement passif face au déploiement et à la constitution du dispositif militaire de la coalition en Arabie Saoudite. Dès lors que les États-Unis prennent la mesure de cette passivité exceptionnelle, se fait jour leur préoccupation quant à des stratégies de « déni d'accès » cherchant notamment à perturber ou à empêcher l'accès au théâtre d'opération et le déploiement d'une puissance expéditionnaire.

Si l'après-guerre froide s'accompagne, de la part des forces aériennes occidentales, d'un désinvestissement assez conséquent en termes de guerre électronique, elle voit également, dans le cas américain, un développement de plus en plus poussé de la furtivité, qui concerne un nombre croissant de plateformes américaines : d'abord réservée au seul F-117, elle constitue l'un des atouts essentiels du B-2, qui devient opérationnel en 1993. Conçu afin de pénétrer les SDAI soviétiques, cet appareil trouve une nouvelle utilité dans l'après-guerre froide dans les missions d'entrée en premier, au cours desquelles son potentiel de surprise, son rayon d'action, l'autonomie conférée par ses capacités d'emport, son ISR embarqué, sa furtivité et ses capacités de pénétration exceptionnelles sont appréciées⁽⁸⁶⁾. Depuis la fin de la guerre froide, la furtivité est devenue aux États-Unis une condition *sine qua non* du développement de nouvelles plateformes aériennes de combat pilotées : le F-22 *Raptor* comme le

(82) Barry D. Watts, Thomas A. Keaney *et al.*, « Part II. Effects and Effectiveness », in Eliot A. Cohen et Thomas A. Keaney (dir.), *Gulf War Air Power Survey. Volume 2. Operations and Effectiveness*, Washington, US Government Printing Office, 1993, p. 363.

(83) Lawrence Freedman, « The Revolution in Strategic Affairs », *Adelphi Papers*, n° 318, 1998, p. 28.

(84) Patrick J. Garrity, *Why the Gulf War Still Matters. Foreign Perspectives on the War and the Future of International Security*, Los Alamos National Laboratory, Center for National Security Studies, juillet 1993.

(85) Garrity, *Why the Gulf War Still Matters*, *op. cit.*, p. 76.

(86) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, *op. cit.*, p. 155-159.

F-35 *Joint Strike Fighter* sont construits selon des schémas et à partir de matériaux réduisant leur SER, et les premières études de l'USAF définissant les caractéristiques de la nouvelle génération de bombardiers stratégiques (*Next-Generation Bomber*, devenu *Long-Range Strike Bomber*) ont – pour l'heure – maintenu cet impératif de furtivité⁽⁸⁷⁾.

Le principal test de la puissance aérienne occidentale au cours des années 1990 se déroule dans les Balkans en 1995 et, surtout, en 1999. Tandis qu'en 1995 les forces de l'OTAN – principalement américaines – parviennent en onze jours à diminuer le potentiel militaire offensif des Serbes de Bosnie-Herzégovine et à les contraindre à retirer leurs armes lourdes des environs de Sarajevo⁽⁸⁸⁾, elles mettent onze semaines à obtenir la soumission de la République fédérale de Yougoslavie de Slobodan Milosevic lors de l'opération *Force Alliée*, menée au printemps 1999⁽⁸⁹⁾. La stratégie initialement employée par l'OTAN pour faire plier le régime de Milosevic est une stratégie de coercition fondée sur une intensification graduelle des dommages : elle vise avant tout à adresser au dirigeant serbe des signaux quant à la détermination des Alliés à le faire plier. Prenant d'abord pour cibles les installations militaires serbes (dépôts de munitions et de ravitaillement, QG, centres de communication, etc.⁽⁹⁰⁾) ainsi que le SDAI, les forces de l'OTAN ne frappent les piliers du pouvoir serbe – radio et télévision nationales, systèmes de communication, installations de production d'électricité, etc. – qu'à partir de la quatrième semaine, lors du sommet de l'OTAN à Washington⁽⁹¹⁾.

D'emblée, il apparaît que le SDAI serbe est l'une des difficultés majeures auxquelles est confrontée l'OTAN. Composé de moyens globalement assez anciens (SA-2, SA-3 et SA-6; MANPADS, DCA), le système n'est pas tant menaçant par sa capacité à détruire un grand nombre d'appareils de l'OTAN que par le milieu complexe au sein duquel il est établi (relief, végétation dense,

(87) Dave Majumdar, « US Air Force Budgets for New Bomber, Revises Space Approach », *Defense News*, 21 février 2011.

(88) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 174-178.

(89) Pour une évaluation stratégique de la campagne de l'OTAN au Kosovo, et en particulier de l'emploi de la puissance aérienne, voir notamment Andrew J. Bacevich et Eliot A. Cohen (dir.), *War Over Kosovo. Politics and Strategy in a Global Age*, New York, Columbia University Press, 2001 ; Daniel L. Byman et Matthew C. Waxman, « Kosovo and the Great Air Power Debate », *International Security*, vol. 24, n° 4, printemps 2000, p. 5-38 ; Benjamin S. Lambeth, *Air Power Against Terror. America's Conduct of Operation Enduring Freedom*, Santa Monica, RAND Corporation, 2005 ; Andrew L. Stigler, « A Clear Victory for Air Power. NATO's Empty Threat to Invade Kosovo », *International Security*, vol. 27, n° 3, hiver 2002-2003, p. 124-157 ; Pascal Vennesson, « Bombarder pour convaincre ? Puissance aérienne, rationalité limitée et diplomatie coercitive au Kosovo », *Cultures & Conflits*, n° 37, 2000, p. 23-59.

(90) Anthony H. Cordesman, *The Lessons and Non-Lessons of the Air and Missile Campaign in Kosovo*, Westport, Greenwood Press, 2001, p. 23-24.

(91) William Arkin indique ainsi que plus de 70 % des munitions tirées l'ont été au cours des trois dernières semaines, le reste se répartissant sur les huit premières. William M. Arkin, « Operation Allied Force : "The Most Precise Application of Air Power in History" », in Andrew J. Bacevich et Eliot A. Cohen (dir.), *War Over Kosovo. Politics and Strategy in a Global Age*, New York, Columbia University Press, 2001, p. 21. Cf. également Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 183-189.

milieu urbain), ainsi que par l'habileté avec laquelle il est employé, deux paramètres rendant sa neutralisation particulièrement complexe⁽⁹²⁾.

Alors que la coalition avait remporté d'impressionnants succès face aux défenses irakiennes au cours de l'opération *Desert Storm*, l'OTAN a découvert huit ans après, lors de *Force Alliée*, que neutraliser définitivement les batteries de missiles et les radars des systèmes SA-3 et SA-6 serbes est extrêmement difficile, pour peu que ceux-ci soient employés selon des tactiques habiles et tirent profit du relief et de la végétation afin de se dissimuler⁽⁹³⁾. Le SDAI serbe bénéficie également d'un réseau de communications et de commandement extrêmement résilient grâce à l'enterrement des lignes et la bunkérisation des postes. Cette organisation « filaire » le rend aussi moins vulnérable à la perturbation des liaisons de données tactiques par des moyens de guerre électronique de l'adversaire.

Selon l'analyste américain Benjamin Lambeth, l'OTAN et les États-Unis payent également le prix de plusieurs années de négligence de la guerre électronique à l'échelle de l'escadron de combat. La fin de la guerre froide ayant entraîné la dissipation de pools d'ingénieurs mais également de nombreux praticiens des méthodes de brouillage offensif et défensif qui font alors défaut au moment de s'opposer à un système de défense aérienne construit sur le modèle soviétique⁽⁹⁴⁾.

Tirant les leçons du Golfe et de la Bosnie, les Serbes minimisent l'emploi de leurs SAM afin de prolonger leur durée de vie tout en maintenant une menace en puissance (*threat in being*) par l'allumage régulier des radars d'engagement suivis de leur extinction aussitôt repérés par une arme antiradar — cette technique avait déjà été employée par les Irakiens pendant les opérations *Northern Watch* et *Southern Watch* (1991-2002)⁽⁹⁵⁾. Ainsi, en dépit des 753 missiles antiradar AGM-88 HARM tirés au cours de la campagne, les forces aériennes de l'OTAN ne furent jamais en mesure de neutraliser de manière définitive les défenses aériennes serbes⁽⁹⁶⁾.

Les facultés d'apprentissage des opérateurs de la défense sol-air serbe, leur compétence tactique, renforcée par le retour d'expérience transmis au préalable par des officiers irakiens, et la prévisibilité des vols américains permettent même aux Serbes d'abattre un F-117 furtif à l'aide d'un système S-125 *Neva*

(92) Benjamin Lambeth, *NATO's Air War for Kosovo*, *op. cit.*, p. 102-116 ; Barry R. Posen, « The War for Kosovo. Serbia's Political-Military Strategy », *International Security*, vol. 24, n° 4, printemps 2000, p. 54-62.

(93) Owen R. Cote, Jr., *Assuring Access and Projecting Power : The Navy in the New Security Environment*, MIT Security Studies Conference Series, avril 2002, chapitre 3, accessible à l'adresse http://web.mit.edu/ssp/publications/conf_series/navy_report/navyreport.html

(94) Benjamin Lambeth, « Kosovo and the Continuing SEAD Challenge », *Aerospace Power Journal*, n° 3, 2002.

(95) Lambeth, « Kosovo and the Continuing SEAD Challenge », *op. cit.*

(96) Martin Andrew, « Revisiting the Lessons of Operation Allied Force », *Air Power Australia*, 14 juin 2009.

(SA-3) datant des années 1960⁽⁹⁷⁾. Cet épisode, qui constitue la première perte d'un appareil furtif dans l'histoire, représente à lui seul les limites du triomphe de la puissance aérienne occidentale. Un certain nombre d'erreurs de procédures semble s'être cumulé pour permettre la perte de l'appareil. Tout d'abord le plan de vol du F-117 semble n'avoir pas été optimisé pour la minimisation de sa SER du fait de la volonté de respecter les accords de Dayton et donc du refus de survoler la Bosnie, ces contraintes politiques rendaient également l'approche de l'appareil plus prévisible. Ensuite, il semble que les capteurs ROEM aient échoué à détecter le déplacement des batteries de SA-3, et à identifier leur nouvelle position. Enfin, le brouillage des EA-6B *Prowler* semble avoir été effectué à trop grande distance pour permettre une protection adéquate du F-117.

Il faut également ajouter à ces erreurs américaines, une excellente adaptation serbe, et notamment du colonel Dani Zoltan qui commandait alors la batterie de SA-3. Ce dernier a su bénéficier de renseignements produits par des informateurs placés sur la base d'Aviano en Italie quant au décollage de l'appareil et serait parvenu à modifier la fréquence de son radar pour limiter les effets de la furtivité. Au-delà de l'effet politique et médiatique retentissant de la perte d'un appareil aussi technologique face à un SAM de première génération, l'épisode est aussi lourd de conséquence en matière de secret militaire : l'épave de F-117 n'a pu être détruite à temps et a ainsi pu être récupérée par les Serbes pour circuler en Russie et possiblement en Chine, concourant à la diffusion de la technologie furtive auprès d'adversaires potentiels⁽⁹⁸⁾.

Cette incapacité des forces aériennes américaines a pesé sur les opérations de l'OTAN, en dissuadant leurs appareils de voler en deçà d'une altitude de 15 000 pieds, diminuant leur efficacité tactique et accroissant le risque de dommages collatéraux⁽⁹⁹⁾. La persistance du risque d'attaque sol-air a par ailleurs imposé aux chasseurs-bombardiers de l'OTAN de voler au sein de formations (COMAO) comportant notamment des moyens de guerre électronique, accroissant de ce fait le coût et la lourdeur des missions, et ralentissant l'exécution du plan d'opération.⁽¹⁰⁰⁾ Bien qu'il ne fut pas nécessairement interprété comme tel, l'épisode des Balkans, et notamment du Kosovo, semble donc offrir une vision bien différente du narratif, centré sur la guerre du Golfe, d'une puissance aérienne triomphale dans les années 1990.

(97) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 200-202 ; « Serb Discusses 1999 Downing of Stealth », *USA Today*, 26 octobre 2005, accessible à l'adresse : http://www.usatoday.com/news/world/2005-10-26-serb-stealth_x.htm (consulté le 4 juin 2012).

(98) Larkins Dsouza, « Who Shot Down F-117? », *Defence Aviation*, 8 février 2007.

(99) Barry R. Posen, « Command of the Commons. The Military Foundations of US Hegemony », *International Security*, vol. 28, n° 1, 2003, p. 24-30.

(100) Benjamin Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 215.

TRANSFORMATION MILITAIRE ET MARGE DE SUPÉRIORITÉ :
UN SUCCÈS EN TROMPE L'ŒIL ?

Pour des raisons différentes, les opérations *Enduring Freedom* et *Iraqi Freedom* n'ont guère posé de défi aux forces aériennes occidentales, tout au moins lors de la phase conventionnelle des opérations. Si *Enduring Freedom* est conduite dans un environnement extrêmement défavorable (urgence, absence de façade maritime, éloignement des bases aériennes alliées, etc.), elle est néanmoins confrontée à des capacités de défense aérienne quasi inexistantes. Tout d'abord, la flotte d'intercepteurs afghans se résume à moins d'une cinquantaine de MiG-21 et de Su-22, et si une quarantaine de Talibans sont jugés capables de piloter ces appareils, aucun ne tente de décoller au cours de la guerre. En termes de défense sol-air, ensuite, les Talibans possèdent quelques capacités lacunaires, principalement des SA-3, mais ceux-ci ne sont nullement constitués en SDAI. De plus, on estime à 100 ou 200 les MANPADS d'origine américaine (essentiellement FIM-92 *Stinger*) encore entre les mains des Talibans.⁽¹⁰¹⁾ Si l'attaque initiale comporte naturellement une dimension SEAD et prend pour cible les radars d'alerte avancée et les centres de C2 adverses, les États-Unis s'assurent dès les premiers jours de la maîtrise de l'espace aérien au-dessus de 20 000 pieds, et sont ainsi en mesure de réduire la taille des COMAO, du fait du moindre degré de protection requis de la part des appareils de guerre électronique.⁽¹⁰²⁾

Iraqi Freedom, initiée un an et demi après *Enduring Freedom*, ne pose pas non plus de problème significatif aux forces aériennes anglo-saxonnes. La coalition a pu s'abstenir d'entamer l'opération par une longue campagne aérienne préalable à l'invasion terrestre en raison des frappes subies par les défenses irakiennes – en particulier le SDAI – dans le cadre des opérations *Northern* et *Southern Watch* initiées après *Desert Storm*, puis à partir de l'été 2002 dans le cadre de l'opération *Southern Focus*. La conduite de ces opérations, qui a donné lieu à de fréquents accrochages depuis 1998, permet aux États-Unis de conforter leur expérience d'engagement et de combat face à la défense aérienne irakienne, et de détruire plus de 350 cibles au cours des deux années précédant *Iraqi Freedom*⁽¹⁰³⁾. Malgré la faiblesse de la défense aérienne irakienne à la mi-mars 2003, les premiers raids de la campagne de frappes aériennes de décapitation combinent, par mesure de sûreté, avions furtifs (F-117, B-2) et missiles *Tomahawk*.⁽¹⁰⁴⁾ De même, la mission de neutralisation des défenses aériennes irakiennes mobilise tout de même, au cours de l'opération, 1 440 sor-

(101) Benjamin Lambeth, *Air Power Against Terror. America's Conduct of Operation Enduring Freedom*, Santa Monica, RAND Corporation, 2005, p. 77. Voir aussi Anthony H. Cordesman, *The Lessons of Afghanistan. War Fighting, Intelligence, and Force Transformation*, Washington, CSIS Press, 2002.

(102) *Ibid.*, p. 84-85.

(103) Anthony H. Cordesman, *The Iraq War. Strategy, Tactics and Military Lessons*, Westport, Praeger, 2003, p. 253, 274, 335-338 ; David R. Mets, *Airpower and Technology. Smart and Unmanned Weapons*, Westport, Praeger Security International, 2009, p. 154 ; Murray et Scales, *The Iraq War, op. cit.*, p. 163.

(104) Michael R. Gordon, Bernard E. Trainor, *Cobra II. The Inside Story of The Invasion and Occupation of Iraq*, New York, Pantheon Book, 2006, p. 211.

ties de guerre électronique, et aboutit à l'emploi de plus de 400 missiles AGM-88 HARM⁽¹⁰⁵⁾.

Si ces deux théâtres n'ont donc pas vu de contestation symétrique de la puissance aérienne, ils n'en sont pas moins le lieu de l'émergence et de la diversification de pratiques d'irrégularisation des adversaires exposés à la puissance aérienne occidentale. Tirant un profit maximal d'un terrain favorable (végétation dense, milieu urbain, relief accidenté, etc.), les contre-stratégies opposées à la guerre de précision s'appuient sur deux principes : sortir du registre conventionnel pour réduire l'exposition physique au feu occidental, et menacer d'accroître le coût politique des frappes.

La supériorité occidentale en termes de précision, de portée, de diversité et de permanence des capteurs semble condamner les forces constituées autour de plateformes trop visibles telles que les chars, navires, chasseurs non-furtifs, etc. Néanmoins, aussi performants qu'ils puissent être face à ce type de plateformes, particulièrement lorsqu'elles sont rassemblées en grandes formations régulières (brigades, divisions, etc.), les capteurs incarnant la RMA montrent vite leurs limites face à des adversaires irréguliers. Ainsi, *Enduring Freedom* révèle rapidement que dès lors que l'adversaire n'adopte pas de tactiques d'affrontement « linéaires » face aux combattants de l'Alliance du nord, voire qu'il refuse le combat pour s'évanouir momentanément dans la nature, il n'est plus possible de l'identifier et de le neutraliser à distance de sécurité⁽¹⁰⁶⁾.

Ce phénomène d'irrégularisation des pratiques touche également les États. Le cas de l'Irak en 2003 constitue un exemple significatif. Au lieu de s'articuler, comme en 1991, autour de l'emploi de grandes formations, la principale source d'opposition militaire à laquelle se heurtent les forces terrestres américaines et, dans une moindre mesure, britanniques est constituée de combattants irréguliers issus des forces de sécurité internes, ou ayant abandonné leur armement et équipement lourd au profit de lance-roquettes, mines et mortiers, et harcelant les unités américaines à partir de villes telles que Samawa, Najaf, ou Nasiriyah⁽¹⁰⁷⁾. Loin de n'être qu'une adaptation se produisant spontanément après des semaines de lutte conventionnelle inefficace, cette forme d'opposition fait partie intégrante du plan défensif irakien : l'armée Al-Qods, les Fedayin de Saddam Hussein ou autres milices baasistes, bien qu'initialement créés pour faire face aux menaces d'ordre interne (venant des minorités kurdes et chiïtes principalement), ont été réorientés vers des fonctions de défense face aux menaces externes.⁽¹⁰⁸⁾

(105) Anthony Cordesman, *The Iraq War*, op. cit., p. 338.

(106) Rober H. Scales, *Yellow Smoke. The Future of Land Warfare for America's Military*, New York : Rowman and Littlefield, 2003, p. 75 ; Anthony Cordesman, *The Lessons of Afghanistan*, op. cit., p. 26-29 ; Stephen Biddle, « Afghanistan and the Future of Warfare », op. cit., p. 26-33.

(107) Gordon et Trainor, *Cobra II*, op. cit., notamment p. 206, 208, 222-223, 246-247.

(108) En particulier, l'expérience américaine en Somalie et l'échec de l'opération *Restore Hope* semblent avoir poussé Saddam Hussein dans cette voie. Kevin M. Woods et al., *The Iraqi Perspectives Project. A View of Operation Iraqi Freedom from Saddam's Senior Leadership*, Suffolk, Joint Center for Operational Analysis, Joint Forces Command, 2006, p. 48.

L'irrégularisation facilite l'adoption de mesures telles que la dispersion des unités et des moyens et leur dissimulation. Celle-ci se traduit à la fois par des techniques de camouflage ou d'enfouissement, mais peut également prendre la forme d'une immersion au sein de la population civile, jouant sur le fait qu'il est toujours par définition impossible de distinguer à distance un civil d'un combattant adverse non armé⁽¹⁰⁹⁾. Après une première phase de l'opération *Enduring Freedom* qui voit la défaite des formations talibanes tentant d'opposer une résistance à la coalition *via* un affrontement régulier, les combattants d'Al Qaïda poursuivant les combats parviennent à se protéger des frappes aériennes américaines en combinant une exploitation du couvert offert par le relief accidenté (rochers, grottes) et des positions défensives solidement établies, reliées par des tunnels et habilement camouflées⁽¹¹⁰⁾.

En parallèle à ces pratiques s'efforçant de réduire l'efficacité tactique des frappes, se sont développées des tactiques visant à en accroître les coûts politiques, exploitant l'aversion des sociétés et des dirigeants occidentaux aux pertes civiles et aux tirs fratricides – et plus largement à tous types de dommages collatéraux. Politiquement, la révélation publique que des frappes ont occasionné des dommages collatéraux est une source potentielle de contestation interne et internationale de l'effort de guerre occidental. Stratégiquement, une telle révélation peut contraindre la conduite du plan d'opération, en occasionnant l'établissement de règles d'engagement beaucoup plus restrictives ou un ralentissement du rythme des opérations, comme c'est le cas suite à la destruction du bunker d'al-Firdos, lors de *Desert Storm*⁽¹¹¹⁾. L'adversaire peut également implanter des centres de commandement, points de résistance, éléments d'artillerie ou dépôts de munitions à proximité – voire à l'intérieur – de bâtiments civils. Ce faisant, il pose un dilemme aux Occidentaux, qui ont le choix entre frapper à distance de sécurité en prenant le risque de causer des pertes civiles, neutraliser la cible à l'aide d'unités au sol en exposant celles-ci aux tirs ennemis, à condition toutefois que de telles unités soient disponibles ou, enfin, ne pas attaquer cette cible. Les deux procédés les plus répandus et les plus efficaces sont, dans ces cas, le recours aux boucliers humains et à l'imbrication tactique.

Lors d'*Iraqi Freedom*, par exemple, des combattants irakiens ont apparemment utilisé des boucliers humains afin de tirer profit des règles d'engagement restrictives auxquelles étaient soumises les forces américaines⁽¹¹²⁾. S'il prend des formes très variables, ce recours aux boucliers humains aboutit dans tous les cas à contraindre la liberté d'action occidentale, en amenant les puissances

(109) O'Hanlon, *Technological Change and the Future of Warfare*, *op. cit.*, p. 66.

(110) Biddle, *Afghanistan and the Future of Warfare*, *op. cit.*, p. 26-37. Sur le recours aux tunnels et autres installations souterraines en réponse à l'amélioration des performances des capteurs modernes, cf. par exemple O'Hanlon, *Technological Change and the Future of Warfare*, *op. cit.*, p. 117; Barry D. Watts, « American Air Power », in Williamson Murray (dir.), *The Emerging Strategic Environment. Challenges of the Twenty-First Century*, Westport, Praeger, 1999, p. 197.

(111) Cohen et Keane, *Revolution in Warfare?*, *op. cit.*, p. 58-59.

(112) Murray et Scales, *The Iraq War*, *op. cit.*, p. 103.

interventionnistes à s'interdire de frapper certains sites-clés, à prendre le risque de pertes civiles, ou à adopter un mode d'action plus risqué pour les combattants américains – et donc politiquement plus exposé.

Le second mode de protection face à la puissance de feu est l'imbrication, qui consiste, pour des combattants, à engager le combat avec l'adversaire à une distance tellement réduite qu'elle interdit – ou, au minimum, complique à l'extrême – le recours à l'appui-feu par l'arme aérienne ou l'artillerie⁽¹¹³⁾. En tant que tel, le procédé n'est pas inédit : historiquement, le fait d'aller au contact avec l'ennemi a toujours été un moyen de protection des unités de manœuvre face aux armes d'appui. Il s'agit notamment d'un procédé classique pour les groupes armés irréguliers confrontés à des forces armées étatiques disposant d'une puissance de feu supérieure – à la fois en termes de capacités destructives et de portée⁽¹¹⁴⁾. C'est ainsi que les Tchétchènes y ont par exemple largement recouru à Grozny pour empêcher les Russes de profiter de l'avantage écrasant en termes de puissance de feu procuré par leur artillerie et leurs forces aériennes⁽¹¹⁵⁾. S'il les a précédées, ce mode d'action – et de protection – est néanmoins une réponse particulièrement adaptée aux armes à guidage de précision, et aux contraintes allant de pair avec le cadre de la guerre limitée qui s'impose actuellement en Occident. Rapidement employé en Irak et en Afghanistan, le procédé s'est généralisé avec l'enracinement durable des mouvements insurgés dans ces pays⁽¹¹⁶⁾. Il fait également partie des méthodes largement utilisées en 2006 par le Hezbollah face à Tsahal – autre adversaire recourant massivement aux armements de précision⁽¹¹⁷⁾.

Enfin, résister à la puissance aérienne implique d'être doté d'un dispositif capable de coordonner l'action des éléments combattants et de soutien, malgré les tentatives occidentales de neutralisation et de destruction du système du défenseur. Pour ce faire, le système de contrôle et de commandement et, plus généralement, l'organisation de l'adversaire se doivent d'être résilients face aux attaques occidentales. La tendance est donc à l'adoption de modes d'organisation moins hiérarchiques et plus décentralisés, et à la délégation plus poussée des responsabilités aux niveaux inférieurs de la chaîne de commandement – par exemple au niveau local ou régional – afin que la décapitation des hiérarchies politique et militaire n'aboutisse pas à l'effondrement du système entier et à la paralysie d'échelons subordonnés qui craignent d'être réprimandés s'ils prennent une initiative ou sont simplement incapables d'en prendre.

(113) Sur les difficultés que pose le recours à l'appui-feu contre des adversaires irréguliers, voir Elie Tenenbaum, « Entre ciel et terre. Le débat air-sol et les défis de l'appui-feu », *op. cit.*, p. 25-38.

(114) Posen, « Command of the Commons », *op. cit.*, p. 22-24.

(115) Grau, « Technology and the Second Chechen Campaign », *op. cit.*, p. 102. Voir également Timothy L. Thomas, « Russian Tactical Lessons Learned Fighting Chechen Separatists », *Journal of Slavic Military Studies*, vol. 18, n° 4, décembre 2005, p. 751.

(116) Les adversaires de la coalition – soutiens au régime de Saddam Hussein, puis opposants à la présence américaine – recourent à l'imbrication dès l'arrivée dans Bagdad des premières unités américaines. Cf. Gordon et Trainor, *Cobra II*, *op. cit.*, p. 399 ; Goya, *Irak. Les armées du chaos*, *op. cit.*, p. 39-40.

(117) Stephen D. Biddle et Jeffrey A. Friedman, *The 2006 Lebanon Campaign and the Future of Warfare. Implications for Army and Defense Policy*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2008, p. 36-38.

CONCLUSION

Dans le domaine de l'analyse opérationnelle, une arme n'est jamais aussi efficace que lorsqu'elle peut appliquer directement ses effets aux autres armes sans avoir à craindre son équivalent dans les rangs ennemis. L'arme aérienne, lorsque sa suprématie est assurée et peut s'exercer sans contrainte sur ses adversaires de « surface », participe alors de la même logique que lorsque des forces terrestres telles que la cavalerie ou l'artillerie s'attaquent à une infanterie isolée. C'est de cette dissymétrie fondamentale que se nourrissent les effets tactiques fondamentaux qui permettent le succès offensif sur le champ de bataille. De par cette logique même, la supériorité aérienne est en effet un objectif qui fait sens. Pour autant, la bataille pour la supériorité aérienne doit toujours être comprise comme un moyen au service d'une stratégie plus globale et non une fin en soi – en dépit des préférences culturelles traditionnellement associées au corps des aviateurs⁽¹¹⁸⁾. En effet, pour des raisons qui ont pu être analysées ailleurs⁽¹¹⁹⁾, la réflexion doctrinale autour de la supériorité aérienne s'est longtemps focalisée, en France comme aux États-Unis, sur le combat aérien, négligeant l'importance déterminante de la composante terrestre de sa contestation.

Au terme de cette mise en perspective historique, il semble pourtant que la pertinence d'une vision selon laquelle la seule menace sur la supériorité aérienne occidentale serait l'émergence d'une flotte symétrique doive être remise en question. En effet, dès les premiers temps de la puissance aérienne, les modes de contestation terrestres de la puissance aérienne ont démontré leur diversité et leur efficacité. Après plus de deux décennies de triomphe technico-opérationnel des forces aériennes, celles-ci devront bientôt faire face à des adversaires ayant observé leurs modes d'action et potentiellement identifié leurs faiblesses. Celles-ci ne résident assurément pas toutes dans les capacités à mener un duel aérien, en dépit de l'attraction culturelle des aviateurs pour ce type d'engagement. C'est donc en connaissance de la variété des contre-stratégies aériennes déjà attestées par la courte histoire de la guerre aérienne qu'il convient d'aborder l'analyse prospective des menaces à venir.

(118) Pascal Vennesson, *Les chevaliers de l'air. Aviation et conflits au xx^e siècle*, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 1997.

(119) Étienne de Durand et Bastien Ironnelle, « Stratégie aérienne comparée : France, États-Unis, Royaume-Uni, Centre d'études en sciences sociales de la défense (C2SD) », *Les Documents du C2SD*, n° 83, 2006.

CHAPITRE 2

L'HORIZON DES CONTRE-STRATÉGIES AÉRIENNES

INTRODUCTION

La centralité de la composante aérospatiale dans la puissance militaire occidentale a des racines profondes, et explique les efforts consentis par les adversaires potentiels afin de la neutraliser. Adossé à sa supériorité aérienne, l'Occident a pu conduire de nombreuses interventions militaires depuis la fin de la guerre froide. Largement étayée par les capacités américaines, cette supériorité se décline dans tous les domaines de la puissance aérospatiale, des frappes dans la profondeur à l'ISR tactique, en passant par l'alerte avancée, le renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) ou la logistique. Sous l'effet des expériences répétées dans le Golfe persique, dans les Balkans et en Afghanistan, les forces aériennes occidentales ont tendu vers une interopérabilité de plus en plus forte et, bien que leurs propres limites aient été éprouvées dans le cadre des guerres irrégulières, ces forces aériennes n'ont jamais affronté d'adversaire aérien significatif au cours des deux dernières décennies.

L'étude de l'histoire des contre-stratégies aériennes au xx^e siècle, qui a fait l'objet de la première partie de cet ouvrage, illustre un point fondamental : la période de supériorité aérospatiale marquée que nous avons connue depuis près de vingt-cinq ans constitue une exception. L'avantage militaire occidental reflète tant le bouleversement occasionné par la chute du mur de Berlin et la transformation géopolitique qui s'en est suivie, que les investissements massifs consentis aux États-Unis dans le domaine aérien dans les quinze dernières années de la guerre froide, ou encore l'important déséquilibre de puissance séparant l'Occident et ses adversaires au cours de cette période.

Pourtant, le degré de supériorité dont bénéficie l'Occident est appelé à évoluer à mesure que la distribution de la puissance à l'échelle du système international évolue, à mesure que s'affaiblit le monopole occidental sur les innovations et que se diffusent des parades efficaces aux pratiques de guerre technologique à distance de sécurité. Ces changements s'accomplissent sur le long terme et pourraient prendre appui sur des faiblesses inhérentes à la posture stratégique de l'Occident, s'inscrivant de fait dans une logique de projection (*cf.* « Tendances générales de la contestation de la supériorité aérienne »). Au niveau capacitaire, il convient d'analyser l'évolution des options exploitables par des adversaires potentiels pour affaiblir, désorganiser, voire défaire les opérations aériennes occidentales. Sous l'effet des progrès technologiques, de la diffusion des innovations et des retours d'expérience, des points de faiblesse, voire des pans de vulnérabilités, pourraient émerger dans les dispositifs occidentaux (*cf.* « Évolution capacitaire de la menace »). À terme, de telles capacités

devraient être combinées et intégrées au sein de contre-stratégies variées, susceptibles de servir des objectifs politiques divers, tant en termes de moyens que de niveau d'ambitions (cf. « Typologie des contre-stratégies aériennes »).

TENDANCES GÉNÉRALES DE LA CONTESTATION DE LA SUPÉRIORITÉ AÉRIENNE

Les forces aériennes occidentales sont devenues indispensables aux opérations de guerre moderne, et ont tenu une place centrale dans l'avantage militaire de l'Occident sur ses adversaires. Celui-ci résulte pourtant de variables nombreuses telles que les ressources économiques des pays occidentaux, la richesse de leurs bases industrielles et technologiques de défense et de leurs expériences aériennes, ou encore un monopole durable sur les technologies avancées. Le degré de supériorité dont a bénéficié l'Occident est ainsi le produit de facteurs qui pourraient être appelés à connaître de profonds changements au cours des deux prochaines décennies.

La distribution de la puissance à l'échelle du système international évolue, et voit une réduction constante de la part des pays occidentaux dans les dépenses de défense mondiales, affaiblissement tendanciel qui semble appelé à se poursuivre. Si les traits principaux des postures stratégiques des pays occidentaux – posture expéditionnaire, prédominance du cadre de la guerre limitée – ne devraient que peu varier, la marge de supériorité sur laquelle repose le modèle occidental de la guerre pourrait quant à elle se réduire, à mesure que s'affaiblit le monopole occidental sur les technologies avancées et que se diffusent des parades efficaces aux pratiques de guerre aérienne à distance de sécurité.

L'OCCIDENT FACE AU CROISEMENT DES COURBES BUDGÉTAIRES

L'extrême rareté des pertes aériennes occidentales lors de combats aériens au cours des dernières décennies d'opérations reflète une tendance forte à l'acquisition par l'Occident d'un avantage aérien d'abord marqué (années 1970) puis décisif sur tous ses adversaires potentiels. Les hauts budgets de défense des pays occidentaux et leurs capacités d'innovation technologique leur ont permis de constituer des forces aériennes disposant d'une génération d'avance – voire plus – sur celles de leurs adversaires.

En partie à l'origine des succès rencontrés lors des opérations aériennes des années 1980 et 1990, ce modèle pourrait néanmoins subir une érosion sous l'effet des évolutions croisées des efforts de défense à travers le monde. En Occident et en Europe tout particulièrement, la crise des finances publiques accroît encore la pression exercée sur des budgets de défense déjà menacés par l'absence de péril extérieur majeur et perçu comme tel. Les forces armées européennes sont plongées depuis maintenant plusieurs années dans une période d'austérité frappant en particulier l'Europe du Sud (Espagne, Italie, Grèce...), dont les dépenses de défense ont chuté en moyenne de plus de 10% depuis 2010,

mais également l'Europe occidentale, où se trouvent les principales armées de l'air de la région – au Royaume-Uni, en France et en Allemagne⁽¹⁾.

Aux États-Unis, bien que la situation soit moins préoccupante qu'en Europe, les dépenses de défense connaissent également un ralentissement significatif. Les effets conjugués des désengagements d'Irak et d'Afghanistan et de la crise de la dette ont imposé une série de mesures exceptionnelles destinées à réduire les dépenses fédérales afin de revenir à une situation d'excédent budgétaire et, ce faisant, de combler à long terme la dette publique. Tandis que le Pentagone a déjà dû, suite au *Budget Control Act* conclu à l'été 2011, identifier 487 milliards de dollars d'économies à réaliser entre 2013 et 2023, il pourrait avoir à trouver 500 autres milliards sur cette même période⁽²⁾. Sa production étant terminée, le F-22 est dorénavant hors d'atteinte, mais sa modernisation pourrait s'en ressentir. Bien qu'ils soient censés être protégés des coupes en raison de leur utilité face aux menaces posées par les capacités de déni d'accès et d'interdiction de zone, des programmes tels que le nouveau bombardier stratégique (*Long-Range Strike Bomber*), le F-35 *Joint Strike Fighter* et le nouveau système de brouillage offensif (*Next Generation Jammer*), ou encore l'acquisition des EA-18G *Growler* pourraient faire les frais de nouveaux arbitrages budgétaires défavorables.

À l'inverse des tendances affectant les appareils de défense occidentaux, le budget de la défense chinois connaît depuis une douzaine d'années une croissance de près de 12% par an⁽³⁾. S'il ne progresse pas à un tel rythme, le budget de la défense indien continue de s'accroître de 7 à 8% par an, alors même que la croissance économique du pays ralentit. En parallèle, les dépenses de défense russes ont été multipliées par trois entre 2005 et 2012⁽⁴⁾. La contraction des dépenses de défense européennes, y compris parmi les membres de l'OTAN, est telle qu'en 2012, celles-ci ont été dépassées pour la première fois par les dépenses militaires des pays asiatiques⁽⁵⁾. Force est ainsi de constater que dans certaines zones du monde telles que l'Asie ou le Moyen-Orient, le développement des capacités militaires bénéficie de crédits en augmentation constante, témoignant à la fois du dynamisme économique de ces pays et de la priorité qu'ils continuent d'accorder à l'effort de défense.

FONDAMENTAUX STRATÉGIQUES DES POSTURES EXPÉDITIONNAIRES OCCIDENTALES

Depuis la fin de la guerre froide, la posture stratégique des États occidentaux a été structurée autour d'une donnée cruciale : n'étant pas exposés à une menace militaire territoriale, ils emploient la force sous une forme

(1) IISS, *The Military Balance 2013* Londres, Routledge, 2013, p. 92-96.

(2) Corentin Brustlein, « États-Unis/Défense : cure d'austérité », in Thierry de Montbrial et Philippe Moreau Defarges (dir.), *RAMSES 2013*, Paris, Dunod, p. 248-251.

(3) *Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2012*, Washington, Department of Defense, mai 2012, p. 6.

(4) *The Military Balance 2013*, op. cit. p. 206, 263.

(5) *Ibidem*, p. 33.

expéditionnaire. Lorsqu'ils le font, ils recourent à des postures offensives de projection de forces, qui sont extrêmement complexes et souffrent de faiblesses stratégiques inhérentes à la forme offensive de guerre.

La disparition des menaces majeures aux frontières directes de l'Europe et l'absence d'agression directe de la part d'une puissance lointaine ont placé de fait les puissances occidentales dans une logique de guerre limitée. Depuis la fin de la guerre froide, celles-ci recourent à la force afin de défendre des intérêts n'étant pas essentiels à leur survie. Combattre pour des intérêts limités implique d'agir sous de multiples contraintes, qui incarnent la réticence à prendre des risques pour un enjeu ne les justifiant pas⁽⁶⁾. Plus un acteur se situe dans une logique de guerre limitée, plus les pesanteurs internes (bureaucratiques, organisationnelles, etc.) perdurent et influencent l'action militaire. Une telle influence se traduit par de multiples contraintes : échéances temporelles n'étant pas liées aux besoins opérationnels, règles d'engagement extrêmement limitatives réduisant la liberté d'action des commandants, voire l'efficacité stratégique du plan, préoccupations financières, etc.⁽⁷⁾

Un État se situant dans une logique de guerre limitée s'impose ainsi des restrictions pouvant fragiliser sa position. L'une des difficultés inhérentes à la conduite d'une guerre limitée est l'absence potentielle de symétrie entre les intérêts des deux acteurs : lorsque ces intérêts sont limités et symétriques – ou très proches – deux adversaires s'affrontent pour un enjeu marginal et sont ainsi probablement tous deux soumis à des contraintes de force comparable. Plus le décalage est fort entre la volonté d'un acteur et celle de son adversaire, plus ces contraintes pèsent de manière déséquilibrée dans le conflit, et affaiblissent la position de l'acteur se situant dans une logique de limitation de la guerre.

Cette logique de guerre limitée a de lourdes conséquences lorsque l'on examine les atouts et faiblesses des opérations de projection de forces. Si les opérations de ce type conduites pendant la seconde guerre mondiale s'inscrivaient dans une logique de guerre totale, celles que l'Occident a organisées pendant, et surtout après la guerre froide incarnent cette logique de guerre limitée. Surtout, elles ont vu des puissances expéditionnaires occidentales agissant au nom d'intérêts n'étant objectivement pas vitaux (bien qu'accompagnés d'un discours parfois extrêmement ambitieux) affronter des pays en posture défensive, menacés sur leur territoire national et motivés par des enjeux nettement supérieurs, lorsqu'ils ne sont pas *de facto* placés dans une logique de guerre totale par une crainte d'invasion et de chute du régime.

(6) Hew Strachan, « Strategy and the Limitation of War », *Survival*, vol. 50, n° 1, février-mars 2008, p. 31-54. Voir également Lucien Poirier, « Stratégie intégrale et guerre limitée », *Stratégique*, n° 54, 1992, p. 33-61.

(7) Jonathan B. A. Bailey, « Pouvons-nous faire face à des guerres longues ? », in Christian Malis, Hew Strachan et Didier Danet (dir.), *La guerre irrégulière*, Paris, Economica, 2011, p. 79-80 ; Daniel Byman et Matthew Waxman, *The Dynamics of Coercion. American Foreign Policy and the Limits of Military Might*, Cambridge University Press, 2002, p.130-140.

Cet enjeu supérieur permet alors de soutenir un effort plus intense et plus durable, et de consentir à accepter davantage de sacrifices que l'adversaire⁽⁸⁾. Certes, les armées en posture défensive ne défendent pas toujours les intérêts vitaux d'un État, et ne sont pas parvenues, dans certains cas, à tirer profit d'un tel avantage moral. Néanmoins, ce déséquilibre des enjeux joue plus fréquemment en leur faveur, et particulièrement dans le cadre d'opérations de projection de forces, se déroulant par définition à proximité du territoire du défenseur, voire sur celui-ci. Le défenseur pourrait ainsi faire preuve d'une tolérance aux pertes et aux coûts supérieure, d'une capacité à durer et à mettre en œuvre des stratégies d'usure efficaces à l'encontre d'un adversaire loin de ses bases.

Ainsi, les opérations de projection de forces auxquelles participent les forces aériennes occidentales souffrent d'une profonde dissymétrie des enjeux qui reflète les logiques différentes présidant à l'emploi de la force chez chaque belligérant. Aussi longtemps qu'un acteur ne menace pas directement les intérêts vitaux des pays occidentaux, la projection de forces demeure le principal vecteur de puissance militaire de l'Occident, et la conduite de la guerre par ce dernier reste affectée par ce déséquilibre des enjeux.

Ces contraintes d'ordre politico-stratégique se doublent de vulnérabilités liées aux postures expéditionnaires des forces aériennes occidentales. Pour participer – voire conduire à elles seules – une opération de projection, les forces aériennes ont le choix entre trois options, qu'elles peuvent également combiner :

- utiliser une ou plusieurs bases aériennes situées à proximité du théâtre d'opérations, vraisemblablement sur le sol d'un pays allié ou soutenant au moins tacitement les objectifs poursuivis par l'Occident dans le cadre de l'opération. Une base de théâtre permet de générer un grand nombre de sorties et, pouvant être ralliée rapidement, constitue un moyen pour monter en puissance de manière réactive et potentiellement massive. Elle implique néanmoins une dépendance à l'égard du pays hôte, qui peut édicter ses propres préférences (Arabie Saoudite pour *Desert Fox*, par exemple⁽⁹⁾) et constitue une cible large et fixe, parfois située dans un environnement difficile à sécuriser ;

- s'appuyer sur les capacités d'un groupe aéronaval déployé à proximité du théâtre d'opérations (si celui-ci est proche des côtes), ce qui présente parfois l'avantage de raccourcir les distances à parcourir et de rallonger le temps de présence sur zone, de conférer une plus grande souplesse politique mais génère moins de sorties offensives qu'une base aérienne ;

- procéder à une projection « stratégique » depuis le territoire national, imposant aux forces une élongation extrême, de nombreux ravitaillements, un nombre de sorties fortement contraint et un temps de présence sur zone limité (exemple : frappes de bombardiers stratégiques américains ; frappes américaines sur la Libye en 1986, au cours desquelles les F-111 décollant du

(8) Clausewitz, *De la guerre*, op. cit., p. 72.

(9) Christopher J. Bowie, *The Anti-Access Threat and Theater Air Bases*, Washington, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2002, p. 34-35.

Royaume-Uni ont dû contourner la France et l'Espagne⁽¹⁰⁾; exercices IRO-QUOIS de l'armée de l'Air, etc.).

À un niveau interarmées, les faiblesses propres à un dispositif de projection sont nombreuses, en particulier au niveau naval (lenteur, prévisibilité des trajets, vulnérabilités aux passages resserrés ou dans les ports, etc.). À un niveau proprement aérien, elles sont principalement le fait de la complexité logistique et opérationnelle des missions liée à l'élongation, faisant des systèmes de gestion de l'information logistique des cibles lucratives. Le transport aérien stratégique est, dans l'ensemble, moins vulnérable que les navires aux attaques menées en cours de transit, mais demeure exposé à celles se produisant aux abords des pistes des bases aériennes de départ et d'arrivée – attentats, forces spéciales, cyberattaques, missiles sol-air à très courte portée (SATCP, MANPADS en anglais), etc.

Ce rapport à la distance et à l'environnement favorable au défenseur se reflète également aux niveaux tactique et opérationnel : le défenseur bénéficie généralement d'un temps de préparation supérieur, il peut s'appuyer sur un fort soutien de la population généralement en proie à un réflexe obsidional, il est enfin plus proche de ses bases de commandement et de ravitaillement et ne souffre pas de l'élongation. Bien que ces facteurs jouent en particulier sur le combat terrestre, ils affectent également les opérations aériennes. Au plan tactique, l'attaquant est celui qui s'expose afin de pouvoir frapper les défenseurs, et se rend par là même vulnérable face à des systèmes défensifs misant au maximum sur la dissimulation et la dispersion. Ces mêmes systèmes sont, par ailleurs, d'autant plus dangereux qu'ils peuvent être nombreux car peu onéreux, principalement lorsqu'ils visent à protéger les approches d'un territoire.

TENDANCES ET RUPTURES TECHNOLOGIQUES

Les effets de l'évolution technologique sur la guerre sont marquants, mais rarement décisifs à eux seuls. Le modèle sur lequel repose la domination aérienne occidentale consiste d'abord en un accent mis sur la qualité, à travers des plateformes en nombre de plus en plus réduit mais dont le développement et l'acquisition sont très consommateurs de capitaux. L'avantage militaire qui résulte des investissements massifs réalisés par l'Occident confère à ce dernier une efficacité offensive considérable.

Tout comme le général Beaufre l'avait souligné dans le domaine terrestre, l'arme aérienne est également soumise à un processus cyclique, en grande partie commandé par des facteurs techniques, qui fait évoluer l'équilibre attaque-défense au cours du temps⁽¹¹⁾. Si la supériorité technologique construite par l'Occident depuis la fin des années 1970 a conféré jusqu'à aujourd'hui une prime considérable à l'offensive par voie aérienne, rien n'autorise à penser que des progrès techniques dans le domaine de la défense sol-air ne seraient pas

(10) David A. Shlapak, John Stillion, Olga Olikier et Tanya Charlick-Paley, *A Global Access Strategy for the US Air Force*, Santa Monica, RAND Corporation, 2002, p. 8-9.

(11) André Beaufre (général), *Introduction à la stratégie*, Paris, Economica, 1985 (1963), p. 58-60.

demain en mesure, sinon de bouleverser, du moins d'altérer considérablement l'équilibre attaque-défense actuel.

En raison des dynamiques économiques exposées précédemment (*cf.* « L'Occident face au croisement des courbes budgétaires » *supra*) et d'évolution touchant au domaine technologique, la marge de manœuvre dont disposent les forces aériennes pourrait donc être amenée à se réduire au cours des deux prochaines décennies. Plusieurs évolutions d'ordre technologique pourraient concourir à l'affaiblissement ou au renforcement de ce modèle :

- le rapport entre diffusion et concentration des technologies avancées ;
- l'équilibre entre défensive et offensive au niveau aérien ;
- l'apparition de technologies remettant en cause l'accent mis sur la qualité ou, au contraire, conférant à ce choix une pertinence renouvelée.

Ces trois aspects sont étroitement liés : une innovation défensive extrêmement efficace et peu onéreuse aurait toutes les chances de connaître une diffusion forte. À l'inverse, une technologie requérant des dizaines de milliards de dollars de R&D ne connaîtra qu'une diffusion extrêmement restreinte.

Le processus d'amélioration constante des performances et de réduction des coûts de l'électronique, qui se poursuit depuis les années 1960 pourrait ralentir à l'horizon 2020-2025, sous l'effet de limites physiques et économiques à la loi de Moore⁽¹²⁾. Si tel était le cas, les technologies étant à l'origine de l'avantage militaire occidental actuel devraient se démocratiser et le maintien de cette marge de supériorité pourrait devenir de plus en plus coûteux, et donc difficile. Si l'avenir du couple unissant amélioration des performances et réduction des coûts des composants informatiques ne saurait être anticipé avec précision, plusieurs facteurs pourraient favoriser un nivellement relatif de la puissance militaire : l'explosion des coûts de la R&D à vocation purement militaire, le recours croissant à des technologies civiles, la consolidation des industries avancées au sein de puissances régionales, etc.

Bien qu'elle soit encore actuellement réservée à un nombre restreint d'États, la technologie des radars à balayage électronique à antennes actives bénéficie directement des progrès accomplis dans le domaine de la miniaturisation de l'électronique civile, et devrait donc voir ses coûts baisser tendanciellement et ainsi connaître une diffusion plus large, au point de devenir une technologie standard⁽¹³⁾. À un niveau général, l'impact d'une telle diffusion devrait être une transparence accrue de l'espace aérien qui, toutes choses égales par ailleurs, pourrait être à l'avantage des acteurs en posture défensive. Tout d'abord, il apparaît que l'augmentation de la puissance des radars à balayage électronique accroît les chances de détection des plateformes à signature faible ou très faible, et que sur un plan économique, le développement de moyens anti-furtivité pourrait constituer une option plus intéressante que la poursuite de

(12) Seth Loyd, « What Comes After the Computer Chip? Quantum Computing Holds Much Promise », Slate.com, 20 mars 2013, accessible à l'adresse : http://www.slate.com/blogs/future_tense/2013/03/20/quantum_computing_and_the_future_of_moore_s_law.html

(13) Entretien avec des experts civils et militaires.

progrès dans les technologies de furtivité⁽¹⁴⁾. Par ailleurs, si la miniaturisation permet de doter des plateformes de radars embarqués extrêmement performants, renforçant les capacités des forces aériennes, les stations radar au sol n'ont quant à elle aucune limite en termes de volume, de poids ou de consommation électrique.

Parallèlement aux progrès des capacités de détection, la diffusion de l'électronique miniaturisée devrait contribuer à un accroissement de la létalité, moins du fait d'un allongement de la portée – qui dépend davantage des propriétés énergétiques des propulseurs et des caractéristiques aérodynamiques du missile – que grâce à la capacité à emporter de multiples systèmes de guidage (radar actif, infrarouge, antiradar, électro-optique, etc.) sur un même missile, à des systèmes CCME de plus en plus évolués, et à la finesse des informations en provenance des capteurs. Par ailleurs, l'amélioration des capacités de communication par câbles ou ondes renforce la possibilité de constituer des réseaux de défense aérienne intégrés et résilients et de disposer d'une vision de la situation opérationnelle commune en temps réel.

La diffusion devrait être particulièrement forte dans le domaine sol-air, qui requiert moins de capitaux et qui est considéré comme une première ligne de défense cruciale face à l'Occident⁽¹⁵⁾. Elle devrait être moins large mais sensible malgré tout dans le domaine air-air : les constructeurs aéronautiques misent de plus en plus sur l'export afin de compenser la réduction du volume des forces aériennes de leur pays d'origine, et ces contrats d'exportation s'accompagnent systématiquement de compensations (*offsets*). Si celles-ci peuvent prendre des formes n'ayant rien à voir avec la défense, elles peuvent également impliquer des transferts de technologies significatifs et sensibles. D'ici 2025-2030, le renforcement des bases industrielles et technologiques de défense des pays importateurs, les transferts de technologies sensibles, une compétence accrue de leurs équipes contribueront à réduire le décalage entre les capacités de production occidentales et celles des puissances régionales, même si seuls les systèmes d'origine russes et chinoises poseront à cette échéance une menace importante⁽¹⁶⁾.

La dissymétrie entre les avantages de l'offensive et de la défensive devrait continuer à s'exprimer sur le plan financier : le rapport entre les coûts des dispositifs offensifs et défensifs se démarque très nettement en faveur des seconds, et devrait continuer sur cette voie⁽¹⁷⁾. Constituer un réseau d'alerte avancée et

(14) V. K. Saxena, « Stealth and Counterstealth. Some Emerging Thoughts and Continuing Debates », *Journal of Defence Studies*, vol. 6, n° 3, juillet 2012, p. 19-28.

(15) Patrick J. Garrity, *Why the Gulf War Still Matters. Foreign Perspectives on the War and the Future of International Security*, Los Alamos National Laboratory – Center for National Security Studies, juillet 1993.

(16) Entretien avec des experts civils et militaires ; voir également Louis-Marie Clouet, « La prolifération des technologies aérospatiales russes et chinoises : enjeux militaires, technologiques et industriels », in Grégory Bouterin et Camille Grand (dir.), *Envol vers 2025. Réflexions prospectives sur la puissance aérospatiale*, Paris, La Documentation française, 2011, p. 65-77.

(17) Barry Posen, « Command of the Commons. The Military Foundations of US Hegemony », *International Security*, vol. 28, n° 1, p. 22-24.

de capteurs ISR est plus aisé lorsque l'on veut surveiller les approches de son territoire national que lorsqu'il s'agit de maintenir une couverture à plusieurs milliers de kilomètres de distance, dans un environnement moins connu et malgré les interférences et agissements de l'adversaire. Il en va de même entre le coût du maintien et de la protection d'un réseau C3 redondant et résilient sur le territoire national et le coût d'un tel réseau reliant des plateformes projetées sur de très longues distances.

Si la diffusion des technologies sol-air et, dans une moindre mesure, air-air, pourrait renforcer en priorité les postures défensives, l'hypothèse d'une prolifération de certaines technologies niches particulièrement efficaces à des fins offensives ne saurait être écartée. Les missiles balistiques et de croisière figurent ainsi parmi les options de choix : les progrès remarquables accomplis par l'Iran dans le domaine de la combustion solide au cours des dernières années – bien qu'ils semblent avoir ralenti dernièrement⁽¹⁸⁾ –, la volonté russe de proposer sur le marché des missiles de croisière d'attaque au sol intégrés à des conteneurs, les possibilités offertes en termes de guidage terminal sont autant de développements présentant un caractère préoccupant pour l'Occident⁽¹⁹⁾.

Les missiles balistiques ou de croisière constituent donc des options offensives attractives en raison de leur portée et des difficultés posées par leur interception. Bien que de tels vecteurs, dans leurs portées les plus longues, disposent d'un potentiel de frappe du territoire national renforçant encore l'intérêt que leur acquisition présenterait pour une puissance régionale, la maîtrise de vecteurs à très longue portée pose de lourds problèmes d'ingénierie et, même à un horizon de quinze ans, ne devrait connaître qu'une diffusion limitée⁽²⁰⁾. Ceci ne signifie pas pour autant que certaines options offensives problématiques pour les forces aériennes occidentales ne connaîtront pas de diffusion large à l'horizon temporel considéré : les cyberarmes, en particulier, sont intrinsèquement offensives et accessibles sur le marché noir, bien que n'ayant très probablement qu'un impact indirect sur les opérations militaires occidentales⁽²¹⁾; les engins semi-autonomes pilotés à distance (mini-drones, en particulier) pourraient,

(18) *Iran's Ballistic Missile Capabilities*, Londres, IISS, 2010.

(19) Missiles 3M-54 d'attaque au sol, d'une portée estimée de 200 à 300 km. «MAKS : Russian firm debuts shipping container-housed cruise missiles», *Flight Global*, 23 août 2011, accessible à l'adresse : <http://www.flightglobal.com/news/articles/maks-russian-firm-debuts-shipping-container-housed-cruise-361105/>. Sur le problème plus large de la diffusion des missiles de croisière d'attaque au sol, voir Dennis M. Gormley, *Missile Contagion. Cruise Missile Proliferation and the Threat to International Security*, Westport, Praeger Security International, 2009.

(20) Les difficultés auxquelles se heurte la Corée du Nord dans la mise au point d'un missile balistique intercontinental sont, ici, révélatrices. Voir par exemple Michael Elleman, «Prelude to an ICBM? Putting North Korea's Unha-3 Launch into Context», *Arms Control Today*, mars 2013, accessible à l'adresse : http://www.armscontrol.org/act/2013_03/Prelude-to-an-ICBM%3FPutting-North-Koreas-Unha-3-Launch-Into-Context; Daniel A. Pinkston, *The North Korean Ballistic Missile Program*, Carlisle, Strategic Studies Institute, février 2008; Markus Schiller, *Characterizing the North Korean Nuclear Missile Threat*, Santa Monica, RAND Corporation, 2012.

(21) Entretien avec un expert civil.

employés dans le cadre d'une opération suicide, constituer une seconde option d'attaque à longue distance saturante⁽²²⁾.

Enfin, si la démocratisation des technologies de l'information devra contribuer à accélérer la dissémination de systèmes d'armes modernes, certains secteurs ne devraient voir qu'une diffusion lente et réduite. En raison notamment des normes internationales contrôlant les transferts de technologies impliquées, des fonds requis et de la complexité des savoir-faire nécessaires, l'arme nucléaire et la maîtrise des technologies spatiales (lanceurs, satellites, capacités antisatellites cinétiques) resteront l'apanage des puissances les plus avancées.

La combinaison d'une réduction potentielle du fossé technologique séparant l'Occident du reste du monde et d'un rééquilibrage des efforts de défense à l'échelle du globe implique ainsi de poser la question de la viabilité à long terme de modèles de défense occidentaux qui continuent de miser sur la qualité plutôt que sur la quantité mais avec des ressources contraintes. Si les engagements des deux dernières décennies semblent avoir conforté les armées de l'air occidentales dans leurs choix qualitatifs, la perspective d'un affrontement futur opposant deux forces aériennes raisonnablement intégrées et modernes – bien que n'étant pas identiques – comme la conduite d'une campagne contre un adversaire ayant massivement intégré les drones à sa flotte pourrait par exemple amener à reconsidérer l'arbitrage qui a été accompli entre le perfectionnement des plateformes, leurs types et leur nombre.

ÉVOLUTION CAPACITAIRE DE LA MENACE

Alors que les grandes tendances de la contestation de la puissance aérienne semblent dessiner un avenir exigeant pour les forces occidentales, il convient désormais d'analyser les grandes briques technico-opérationnelles à partir desquelles peuvent être construites des contre-stratégies performantes et dynamiques. Nombre de ces évolutions sont le produit de divers effets de rattrapage technologique participant d'un phénomène global de redistribution des ressources. D'autres capacités sont de nature plus tactiques et résultent davantage de l'observation attentive effectuée par les adversaires potentiels de l'Occident à la suite de vingt années d'interventions militaires et d'opération extérieures. Cinq grandes catégories de capacités anti-aériennes sont présentées ici et détaillées en modes opératoires : l'émergence de flottes d'intercepteurs modernes, les évolutions des systèmes de défense sol-air, le développement de moyens d'actions contre les bases avancées, l'introduction de nouveaux modes d'attaque sur les systèmes d'information et de communication et enfin les contestations terrestres et asymétriques de la puissance aérienne. Il s'agit de proposer une analyse technico-opérationnelle de la menace actuelle et d'en tirer, dans chaque cas, des tendances prospectives.

(22) Entretien avec des experts civils et militaires.

LE RETOUR DU COMBAT AÉRIEN ?

Au cours de la période s'étendant jusqu'à l'horizon 2030, les forces aériennes de nombreuses puissances militaires du monde devraient connaître une transformation significative, sous l'effet de plusieurs tendances conjuguées. L'obsolescence des plateformes déployées au cours de la guerre froide (F-4, F-5, MiG-21/J-7/F-7, MiG-23, *Mirage* III, V et F1, Su-22, Su-24, etc.) annonce le retrait du service opérationnel de milliers d'appareils dont la disponibilité est, à ce jour, d'ores et déjà incertaine. En parallèle, le progrès technologique qui accompagne les nouveaux modèles d'intercepteurs et de chasseurs multirôles participe de l'inflation des coûts unitaires des systèmes⁽²³⁾, qui empêchera d'envisager le renouvellement des flottes à des volumes semblables aux niveaux actuels.

L'évolution des forces aériennes au cours des deux prochaines décennies devrait voir la banalisation des chasseurs dits de «4^e génération», voire de génération «4.5» (équipés de radars à balayage électronique, incorporant des éléments de furtivité, etc.), et vraisemblablement la fin du monopole américain sur les chasseurs de 5^e génération, avec la mise en service d'appareils russes, chinois et indiens. Il semble que dans les choix d'acquisition des principaux acteurs, la recherche de la qualité l'ait pour le moment emporté, provoquant ainsi la réduction quantitative des flottes. Que cette priorité donnée aux plateformes sophistiquées soit durablement partagée ou non, la généralisation de certaines capacités jusqu'alors rares pourrait constituer un défi renouvelé pour les armées de l'air occidentales.

LE CHOIX DE LA QUALITÉ SERA-T-IL UNIVERSEL ?

Que cela reflète une tendance au mimétisme des pratiques et orientations occidentales (américaines en particulier) ou une évaluation des besoins opérationnels inhérents aux futures formes de guerre aérienne, le développement des forces aériennes par des adversaires potentiels de premier rang devrait être caractérisé par le primat accordé au développement qualitatif des flottes et à l'acquisition des plateformes de 5^e génération. En fonction des caractéristiques des premiers modèles non-occidentaux de chasseurs furtifs (coûts d'acquisition et de MCO, performances, etc.), des adversaires de second rang pourraient faire le même choix de la qualité et tenter d'en acquérir un nombre minimal ou, au contraire, limiter la réduction du volume de leurs flottes en optant pour des appareils non-furtifs mais dotés d'équipements modernes.

(23) Voir Sophie Lefeez, «Toujours plus chers ? Complexité des armements et inflation des coûts militaires», *Focus stratégique*, n° 42, février 2013, accessible à l'adresse : <http://ifri.org/downloads/fs42lefeez.pdf>

Au cours des quatre dernières années, la Russie comme la Chine ont dévoilé leurs programmes de chasseurs de 5^e génération. Qu'il s'agisse du *Sukhoi T-50* (également connu sous le nom de PAK FA) russe ou des J-20 et J-31 chinois, tous ces appareils – ou prototypes – reflètent les progrès qualitatifs considérables accomplis par rapport aux chasseurs qui équipent actuellement les forces aériennes des deux pays. Bien que ces différentes plateformes soient encore en développement, des améliorations significatives sont attendues en termes de vitesse (supercroisière), de réduction de la surface équivalente radar (SER) et de la signature infrarouge (SIR), d'armement air-air transhorizon, d'ISR aux possibilités démultipliées (radars à balayage électronique à antennes actives), d'intégration C4ISR ou encore de manœuvrabilité. S'il devrait disposer d'une SER supérieure à celle d'un F-22, le *Sukhoi T-50* pourrait à terme être capable, selon certaines analyses, de rivaliser dans d'autres domaines tels que l'ISR (quatre radars à balayage électronique offrant une couverture à 360 degrés), la vitesse, la portée, voire d'excéder les performances du F-22 *Raptor* en termes de capacité d'emport interne et de manœuvrabilité en combat à portée visuelle ⁽²⁴⁾.

Si les forces armées « imitant » les innovations apparues en Occident n'ont pas à s'acquitter de coûts d'entrée aussi importants que les premiers États les ayant introduites ⁽²⁵⁾, leur recherche de plateformes aériennes polyvalentes intégrant le maximum d'avancées technologiques se traduira par un coût unitaire de plus en plus élevé. Les deux chasseurs de 5^e génération qui équiperont les forces aériennes américaines en 2020-2030 ont tous deux connu ce phénomène : certaines estimations évaluent le coût unitaire du F-22 à 377 millions de dollars, en incluant la R&D et la production. Le F-35 a quant à lui vu son coût unitaire doubler en une décennie, passant de 81 à 161 millions de dollars ⁽²⁶⁾. Malgré des efforts constants afin de les réduire, ces coûts unitaires ont eu pour conséquence directe une révision à la baisse du nombre de plateformes achetées, le nombre de F-22 ayant été divisé par plus de trois, et les commandes de F-35 ayant d'ores et déjà réduit de plus de 15%.

(24) Carlo Kopp, « Russian Fighter technology Accelerates », *Defence Today*, mars 2011, p. 40-42 ; Mackenzie Eaglen et Lajos F. Szaszadi, *What Russia's Stealth Fighter Developments Mean for America*, The Heritage Foundation, Backgrounder n° 2494, 1^{er} décembre 2010 ; Carlo Kopp, « Assessing the Sukhoi PAK-FA », *Air Power Australia*, 15 février 2010 (mise à jour 12 juin 2012).

(25) Cet « effet de rattrapage » est courant dans le domaine de l'innovation industrielle, il est ici renforcé par un effort soutenu, et plus ou moins légal, de rétro-ingénierie aéronautique et d'intelligence économique voire d'espionnage industriel. L'exemple le plus célèbre est peut-être celui des technologies furtives potentiellement issues de l'épave du F-117 abattu au Kosovo et utilisées par la Chine dans le développement du J-20. Sur ce point, lire Phillip C. Saunders et Joshua K. Wiseman, « Buy, Build, or Steal : China's Quest for Advanced Military Aviation Technologies », *Institute for National Strategic Studies, China Strategic Perspectives*, n° 4, décembre 2011.

(26) *F-35 Joint Strike Fighter. Current Outlook is Improved, but Long-Term Affordability Is a Major Concern*, Washington, Government Accountability Office, mars 2013.

L'acquisition d'appareils de générations 4.5 et 5 par la Russie et la Chine et la soumission à la « loi d'Augustine »⁽²⁷⁾ devraient en théorie occasionner un effet similaire de contraction de leurs forces aériennes, les poussant à s'éloigner plus encore des arsenaux pléthoriques de la guerre froide. Par exemple, de 1990 à 2010, le nombre d'appareils de combat en dotation dans l'armée de l'air chinoise est passé de près de 5 000 à moins de 1 500⁽²⁸⁾. La croissance économique de ces pays, surtout en Asie, l'augmentation constante de leurs dépenses de défense et la possibilité de concevoir des modèles moins coûteux que les appareils américains pourraient néanmoins atténuer cette tendance à la réduction des volumes, en permettant malgré tout le maintien de flottes substantielles. Ainsi, bien que cela apparaisse improbable d'ici 2020, l'armée de l'air chinoise de 2030 pourrait comporter un nombre substantiel de chasseurs de 5^e génération⁽²⁹⁾.

De manière générale, on peut envisager au minimum trois hypothèses sur les volumes des forces aériennes sophistiquées auxquelles pourraient être confrontées les forces aériennes occidentales :

– La mise au point d'appareils de 5^e génération moins onéreux que les appareils américains, du fait de coûts d'entrée moindres, d'effets d'apprentissage et de l'espionnage des programmes américains. Cette hypothèse se traduirait par l'achat par le même pays de plusieurs centaines – peut-être 500 pour la Chine, dans un scénario extrême de croissance accélérée⁽³⁰⁾ – d'appareils de 5^e génération, et de la diffusion de ces plateformes : les objectifs affichés actuellement pour le T-50 russe, dont une variante indienne est développée en parallèle, est de produire 200 chasseurs pour chacun des deux pays constructeurs, et 600 autres exemplaires destinés à l'export (avec des acheteurs probablement localisés au Moyen-Orient, en Asie orientale et en Amérique du Sud)⁽³¹⁾.

– Ni l'espionnage industriel, ni les effets de rattrapage, ni les budgets croissants des pays concernés ne parviennent à compenser les effets de l'inflation et de la difficulté de produire des systèmes aussi complexes. Les parcs d'appa-

(27) La loi d'Augustine, du nom de l'ancien directeur de Lockheed Martin et ancien secrétaire de l'*US Army*, désigne l'inflation des coûts d'acquisition des systèmes d'armes alors que les budgets de défense suivent une tendance haussière moins rapide voire stable : « Le coût unitaire des produits aéronautiques militaires a crû à un rythme étonnant et intenable tout au long de l'histoire. Considérons l'exemple des avions tactiques. Comparant l'évolution du coût unitaire par rapport au temps, [...] nous observons que le coût d'un avion tactique a été multiplié en moyenne par quatre tous les dix ans. En extrapolant le budget de la défense selon les tendances de ce siècle, on découvre qu'en 2054 la courbe du coût d'un avion rejoindra celle du budget. Ainsi, au rythme actuel, le budget de la défense entier ne permettra d'acheter [en 2054] qu'un seul avion tactique », cité in Martial Foucault, « Les budgets de défense en France. Entre déni et déclin », *Focus Stratégique*, n° 36, avril 2012, p. 19.

(28) David Shlapak, « Equipping the PLAAF : The Long March to Modernity », in Richard P. Hallion, Roger Cliff et Phillip C. Saunders (dir.), *The Chinese Air Force. Evolving Concepts, Roles, and Capabilities*, Washington, NDU Press, 2012, p. 192.

(29) Entretien avec des experts civils et militaires.

(30) Selon le *Military Balance 2013*, si elles continuent à croître au rythme observé de 2001 à 2011, les dépenses militaires chinoises devraient rattraper – puis dépasser – les dépenses militaires des États-Unis entre 2025 et 2030. *Military Balance 2013*, *op. cit.*, p. 255-256.

(31) Kopp, « Russian Fighter technology Accelerates », *op. cit.*, p. 41.

reils de 5^e génération resteraient limités à quelques dizaines voire une centaine d'exemplaires au maximum.

– En raison des difficultés posées par le développement de plateformes furtives ou des coûts estimés d'un tel choix, un pays décide de ne pas dépasser le stade de démonstrateurs d'appareils de 5^e génération, et de se concentrer au contraire sur la modernisation d'appareils de 4^e génération à l'aide de technologies avancées : radars à balayage électronique, missiles air-air transhorizon, systèmes de renseignement et de contre-mesures électroniques, liaisons de données tactiques, etc.

Quel que soit le nombre de chasseurs de 5^e génération en Russie et en Chine, il est très probable qu'à l'horizon considéré, ceux-ci seront complétés par des chasseurs de 4^e génération modernisés en nombre au moins équivalent⁽³²⁾. À moins que les T-50, J-20 ou J-31 résistent exceptionnellement à la tendance à l'explosion des coûts des chasseurs de 5^e génération, le choix des autres puissances régionales s'orientera vraisemblablement vers une modernisation des flottes de 4^e génération (diffusion de variantes des Su-27/30 de fabrication russe ou chinoise, des J-10 chinois, des JF-17 sino-pakistanaï, etc.), au risque de combler une partie du fossé technologique les séparant des puissances militaires occidentales n'étant pas dotées de chasseurs de 5^e génération, dont la France.

L'ÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE ET LE FUTUR DU COMBAT AÉRIEN

La transformation des armées de l'air adverses pose nombre de questions quant aux formes que pourrait prendre le combat aérien à un horizon de quinze à vingt ans. Tandis que les forces aériennes occidentales ont longtemps bénéficié d'un avantage très net – voire d'un monopole – dans des domaines clés tels que l'ISR aéroporté, les plateformes à SER réduite, la guerre électronique ou le missile air-air actif transhorizon, la diffusion de technologies avancées pourrait réduire ce déséquilibre. Pour peu que la possession de technologies avancées se fasse dans un volume conséquent et se double d'entraînements réalistes et exigeants, elle pourrait à terme contribuer à replacer les affrontements air-air au cœur de la menace posée aux forces aériennes occidentales.

L'entraînement et la disponibilité constituent un point traditionnellement fort de ces dernières. Sur ces deux plans, l'avantage marqué dont dispose l'Occident semble pouvoir se maintenir au cours des dix à quinze prochaines années. Les pays disposant d'une expérience en combat air-air sont extrêmement rares, et ces expériences ont souvent révélé des carences sérieuses en termes d'entraînement⁽³³⁾. Le cas de la Chine semble, à ce titre, instructif : bien que l'armée de l'air chinoise bénéficie d'une modernisation rapide, elle n'a été engagée dans aucun combat depuis la fin des années 1970. Des sources en nombre croissant indiquent que les entraînements et exercices des forces armées chinoises sont de plus en plus réalistes, exigeants et pertinents, et sont donc en mesure d'en-

(32) Ceci rejoint notamment Joseph Henrotin, «Les facteurs de la puissance aérienne», *Histoire & stratégie*, n° 6, juin-juillet 2011, p. 18.

(33) Joseph Henrotin, «L'évolution des missions aériennes», *Histoire & stratégie*, n° 6, juin-juillet 2011, p. 28.

gendrer un retour d'expérience profitable. Néanmoins, une incertitude majeure demeure quant aux performances tactiques et opérationnelles de l'armée de l'air chinoise dans une hypothétique campagne de guerre moderne⁽³⁴⁾. En particulier, la capacité de la Chine à conduire des opérations offensives complexes et de grande envergure apparaît douteuse, et le décalage entre les concepts et la réalité pourrait se maintenir dans un avenir prévisible⁽³⁵⁾.

La sophistication croissante des chasseurs, et la transition vers des appareils multirôles, se double d'ores et déjà d'une diversification des appareils intégrés dans les forces aériennes des puissances régionales, avec le développement amorcé de moyens aéroportés d'alerte avancée et de gestion de la bataille aérienne (AEW&C)⁽³⁶⁾, de capacités ISR diversifiées, de guerre électronique et de ravitailleurs. D'ici 2030, la maîtrise de toute cette panoplie de capacités devrait néanmoins rester l'apanage d'un très faible nombre d'États.

La projection d'une force aérienne moderne supposant de combiner capacités AEW&C, ravitailleurs, moyens d'ISR, de frappe et de supériorité aérienne à longue portée, il apparaît peu probable que des puissances régionales soient capables de conduire de telles opérations ailleurs que dans leur voisinage immédiat – d'autant que cela impliquerait de négocier un accès à des bases situées en territoire étranger. Selon toute vraisemblance, la majeure partie des affrontements air-air dans lesquels pourraient être impliquées les forces aériennes occidentales à l'horizon 2030 se dérouleront donc au-dessus du territoire ennemi, ou au minimum dans des situations où les appareils occidentaux seraient en posture d'élongation.

Or, les progrès accomplis au cours des dernières années et les mises en service devant survenir d'ici 2030 devraient nettement renforcer la capacité de défense aérienne des puissances régionales. Les moyens aéroportés d'alerte avancée et de C2, couplés à une intégration croissante de toutes les capacités de défense aérienne⁽³⁷⁾, devraient leur offrir une réactivité jusqu'alors principalement réservée aux pays de l'OTAN, à leurs alliés ainsi qu'à quelques autres acteurs majeurs. Des systèmes AWACS (Beriev A-50, *Erieye*, KJ-2000 ou leurs successeurs à venir) patrouillant à 50 km en profondeur du territoire national pourraient offrir des capacités de détection des appareils en approche jusqu'à 200 ou 300 kilomètres au-delà des frontières, conférant des capacités d'anticipation, de surveillance et de défense en profondeur sans commune mesure avec

(34) Entretien avec des experts civils ; Daniel M. Hartnett, « Looking Good on Paper : PLA Participation in the *Peace Mission 2010* Multilateral Military Exercise », in Roy Kamphausen, David Lai et Travis Tanner (dir.), *Learning by Doing. The PLA Trains at Home and Abroad*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2012, p. 213-258 ; Kevin Lanzit, « Education and Training in the PLA AF », in Hallion *et al.* (dir.), *The Chinese Air Force. Evolving Concepts, Roles, and Capabilities*, *op. cit.*, p. 235-254.

(35) Entretien avec des experts civils ; David Lai, « The Agony of Learning : The PLA's Transformation in Military Affairs », in Kamphausen *et al.* (dir.), *Learning by Doing. The PLA Trains at Home and Abroad*, *op. cit.*, p. 337-380.

(36) Joseph Henrotin indique que vingt pays disposent ou sont en train de se doter ou de développer des appareils d'alerte avancée, parmi lesquels la Chine, la Russie, l'Inde et le Pakistan. Henrotin, « L'évolution des missions aériennes », *op. cit.*, p. 29, 31.

(37) Cf. « Tendances et évolutions de la menace sol-air » pour la dimension sol-air de la défense aérienne.

ce qui existe aujourd'hui et rendant plus complexe toute pénétration n'étant pas adossée à des moyens de guerre électronique modernes et nombreux⁽³⁸⁾.

Le nombre croissant de plateformes de détection aéroportée signifie qu'à partir du moment où ils sont équipés de liaisons de données tactiques modernes les liant aux moyens AEW&C, les chasseurs adverses peuvent s'appuyer sur les informations transmises par leurs AWACS, limiter voire éviter l'utilisation de leur ISR actif embarqué tout en recourant à leurs capteurs passifs (notamment *Infra Red Search and Track*, IRST) et réduire ainsi drastiquement leurs émissions et donc leur visibilité sur le théâtre⁽³⁹⁾.

Une diffusion large de chasseurs de 5^e génération apparaissant invraisemblable à l'horizon 2030, c'est *a priori* moins la furtivité des plateformes adverses que leurs progrès en termes d'ISR qui pourraient remettre en question la supériorité occidentale. La banalisation attendue des radars actifs à balayage électronique (AESA) et leur intégration de plus en plus systématique dans des flottes de 4^e génération modernisées constituent pour les armées de l'air alliées un défi considérable, notamment en termes de complexité des missions de guerre électronique, d'extension de l'enveloppe de la menace air-air et de visibilité des forces aériennes.

Les appareils de 4^e génération modernisés et de 5^e génération auxquels nous pourrions être confrontés à un horizon de vingt ans auront été conçus après l'apparition et les retours d'expériences des premiers chasseurs furtifs. Par conséquent, des efforts considérables sont consentis afin d'améliorer leur capacité de détection et de suivi des plateformes à faible ou très faible SER. Le *Sukhoi* T-50 semble ainsi disposer d'un système combinant des antennes émettant dans la bande X (grande portée, haute précision) ainsi que dans la bande L (qui offre une meilleure résonance face aux appareils à faible SER comme les F-35)⁽⁴⁰⁾. Les progrès récents accomplis par les radars russes sont tels que, selon certaines estimations, les radars des *Flankers* les plus récents (*Sukhoi* 35BM) seraient capables dès 2020 de détecter des cibles à très faible SER (entre 0,01 et 0,001 m², soit la SER estimée du F-22) à une distance allant de 45 à 90 kilomètres⁽⁴¹⁾.

Pour augmenter les chances de détection des appareils furtifs, les flottes aériennes adverses pourraient également s'appuyer sur les progrès accomplis par les capteurs passifs de type IRST. Bien que les capacités de détection et de suivi de capteurs infrarouges soient gênées par les nuages, elles offrent l'avantage d'être passives, de ne pas être affectées par les systèmes de contre-mesures

(38) La portée de détection et de suivi est réduite pour les cibles volant à basse altitude.

(39) Henrotin, « L'évolution des missions aériennes », *op. cit.*, p. 29.

(40) Eaglen et Szaszadi, *What Russia's Stealth Fighter Developments Mean for America*, *op. cit.*, p. 8-9; Kevin Terrett, « Stalemate : How the Future of Air Power might look in the shadow of the emerging fifth-generation Air Threat », *RAF Air Power Review*, vol. 15, n° 2, p. 22.

(41) Carlo Kopp, « Flanker Radars in Beyond Visual Range Air Combat », *Air power Australia*, 3 avril 2008, mis à jour en avril 2012, accessible à l'adresse : <http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>

électroniques protégeant les chasseurs adverses, et d'exploiter une faiblesse avérée des appareils de 5^e génération actuels : l'incapacité à réduire fortement la signature infrarouge (SIR) d'un chasseur. L'IRST actuel des *Flankers* les plus modernes permet d'ores et déjà de suivre un chasseur à SER normale à 50 km de face et 90 km par l'arrière, et devrait parvenir à détecter les tirs de missiles air-air transhorizon AMRAAM à une distance à plus de 90 km, trahissant la présence d'une plateforme furtive dans un secteur donné⁽⁴²⁾.

La diversification des moyens ISR embarqués, actifs et passifs, pourrait ainsi poser des problèmes significatifs aux forces aériennes européennes dont la flotte devrait, d'ici 2030, être essentiellement constituée d'appareils de 4^e génération modernisés non-furtifs, et de quelques dizaines de F-35 – auxquels pourraient s'ajouter des drones de combat à SER réduite.

L'un des atouts dont les forces aériennes occidentales envisagent de tirer profit est l'allonge supérieure de leur capacité de destruction transhorizon, permise par de puissants radars actifs à balayage électronique, des missiles transhorizon très longue portée (AIM-120D, METEOR, etc.) et encore accrue par la furtivité des porteurs. La volonté de garder l'adversaire à distance grâce à un ISR et des moyens de frappes supérieurs n'est pas nouvelle : au Vietnam, les F-4 *Phantom* américains étaient précisément supposés bénéficier d'un avantage majeur sur leurs adversaires grâce aux missiles transhorizon AIM-7 *Sparrow*. Néanmoins, le missile n'a pas fait preuve de l'efficacité tactique supposée, puisqu'à l'issue des engagements, la probabilité de destruction de la cible (*probability of kill*, pK) de l'AIM-7 était de 0,08 au lieu des 0,7 attendus. Dans les faits, de nombreux intercepteurs vietnamiens parvenaient à s'approcher au point de pouvoir engager un combat visuel, et tirer profit de leur maniabilité supérieure⁽⁴³⁾.

Depuis la fin de la guerre froide, le nombre d'engagements air-air a été faible, et ceux-ci se sont soldés par soixante et une destructions d'aéronefs. L'entrée en service du missile transhorizon AIM-120 a permis de franchir un palier de progression considérable par rapport à l'efficacité des missiles transhorizon précédents. Si sa pK peut être évaluée à 0,46, il convient pourtant de remarquer que ce chiffre reflète des engagements face à des adversaires peu significatifs, n'étant pas équipés pour le combat transhorizon, ne disposant pas de systèmes de contre-mesures électroniques (ou ne les ayant pas utilisés) et ne disposant d'aucun avantage numérique – ayant été au mieux en situation d'égalité, au pire d'infériorité⁽⁴⁴⁾.

L'extension attendue des capacités d'interception air-air transhorizon des forces aériennes occidentales devrait en théorie leur offrir une marge de supériorité non-négligeable dans les quinze à vingt prochaines années. La

(42) Pour les chasseurs non-furtifs en approche frontale, l'IRST de l'EF-2000 *Typhoon* semble offrir les mêmes capacités de détection à 50 km. John Stillion et Scott Perdue, *Air Combat Past, Present and Future*, RAND Project Air Force, août 2008, p. 37.

(43) *Idem*, p. 20.

(44) *Ibid.*, p. 24-25.

possibilité d'une surprise technologique prenant la forme de progrès accomplis par l'adversaire en termes de contre-mesures électroniques défensives ne doit néanmoins pas être négligée. En réduisant l'efficacité des missiles air-air longue portée pouvant les prendre pour cible, de telles contre-mesures accroîtraient les chances pour l'adversaire de parvenir à portée de tir transhorizon, voire à portée visuelle.

Surtout, l'intensification du trafic aérien et les contraintes inhérentes au cadre politique de la guerre limitée⁽⁴⁵⁾, dans lequel sont généralement menées les opérations aériennes, devraient amener les forces armées à maintenir l'accent mis au cours des opérations récentes sur les règles d'engagement. La conséquence directe d'une telle tendance serait d'attendre de disposer d'une identification positive de la cible, relativement aisée lorsque celle-ci est en formation, plus complexe lorsqu'elle est isolée. Cette contrainte d'ordre politique pourrait signifier une incapacité à exploiter pleinement la portée maximale des armes transhorizon et donc un risque lié à la pénétration des moyens air-air de l'adversaire.

Si elle se confirmait, une capacité de l'adversaire à parvenir en combat à portée visuelle avec les appareils occidentaux serait particulièrement significative, puisque les affrontements à courte portée semblent à la fois constituer le point le plus faible du F-22 face aux appareils de 4^e génération, et le point fort des intercepteurs russes actuels et futurs (Su-27, Su-30, Su-35, etc.), appelés à être exportés⁽⁴⁶⁾. Non seulement l'agilité extrême des T-50 pourrait leur offrir d'excellentes capacités en *dogfight*, mais également une capacité d'évitement des missiles air-air les prenant pour cible⁽⁴⁷⁾.

ATTRITION ET NEUTRALISATION DES APPAREILS CRITIQUES : DEUX APPROCHES COMPLÉMENTAIRES ?

Sur un plan technologique, la dialectique de l'offensive et de la défensive appliquée au domaine des affrontements air-air, reflétant en particulier les progrès potentiels en termes de maîtrise du spectre électromagnétique, ne permet donc pas d'envisager de rupture fondamentale dans les formes du combat aérien à un horizon de dix à quinze ans. L'écart technologique entre les forces occidentales et leurs adversaires semble appelé à se réduire, sans toutefois disparaître. Cette supériorité peut néanmoins être contestée à travers deux

(45) Hew Strachan, « Strategy and the Limitation of War », *Survival*, vol. 50, n° 1, février-mars 2008, p. 31-54. Voir également Lucien Poirier, « Stratégie intégrale et guerre limitée », *Stratégique*, n° 54, 1992, p. 33-61.

(46) Lors d'affrontements à courte portée simulés lors d'exercices multinationaux, le *Rafale* comme l'EF-2000 *Typhoon* sont parvenus à tenir tête à des F-22, voire à en détruire. David Axe, « How to Defeat the Air Force's Powerful Stealth Fighter », blog *Danger Room*, 30 juillet 2012, <http://www.wired.com/dangerroom/2012/07/f-22-germans/>; Jean-Dominique Merchet, « *Rafale* contre F-22 : le bilan du match », blog *secret-défense*, 16 février 2010, <http://secretdefense.blogs.liberation.fr/defense/2010/02/rafale-contre-f22-le-bilan-du-match-.html>

(47) Carlo Kopp, « Air combat : Russia's PAK-FA versus the F-22 and F-35 », *Air Power Australia*, 30 mars 2009, accessible à cette adresse : <http://www.ausairpower.net/APA-NOTAM-300309-1.html>

approches tactiques, qui visent chacune à exploiter des points faibles des opérations aériennes occidentales.

La diffusion vers les puissances régionales de moyens AEW&C et la place centrale qu'ils ont acquise dans la bataille aérienne au cours des deux précédentes décennies sont à double tranchant. Si l'avantage qu'ils offrent en termes de connaissance situationnelle à longue portée est indéniable, son corollaire est l'acquisition, par ces plateformes, d'un statut de cible privilégiée des intercepteurs adverses – statut qu'ils partagent avec d'autres plateformes dites *High Value Aircraft* (HVAA), telles que les appareils de renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) et de guerre électronique, ou encore de ravitaillement en vol.

L'Occident menant généralement des opérations de projection impliquant une élongation de ses forces aériennes, sa posture est à la fois complexe à maintenir et fragilisée par une dépendance vis-à-vis des systèmes à haute valeur ajoutée (HVAA) n'étant disponibles qu'en nombre limité. La neutralisation de chacune de ces plateformes, et particulièrement des appareils AEW&C, aurait donc un effet de désorganisation disproportionné à l'échelle de la campagne aérienne en cours.

En théorie, les moyens AEW&C sont capables de détecter à longue portée des infiltrations d'intercepteurs à toute altitude – c'est l'une de leurs fonctions centrales – et la multiplication des ISR embarqués à bord des chasseurs devrait rendre une infiltration de chasseurs adverses plus difficile que jamais. De plus, la doctrine interarmées américaine met logiquement l'accent sur un positionnement de ces moyens vers l'arrière du théâtre, leur assurant un délai de réaction suffisant pour qu'ils puissent s'éloigner et être mis en sécurité en cas de menace rapprochée⁽⁴⁸⁾.

Dans la pratique, néanmoins, plusieurs indicateurs interdisent de négliger la menace posée par des attaques ciblant les moyens AEW&C alliés. D'ici 2030, on assistera au déploiement de chasseurs de 5^e génération par la Russie et la Chine couplant capacités de supercroisière, furtivité et soutes permettant l'emport de quatre à huit missiles air-air longue portée. Afin de réduire autant que possible la difficulté de ce type de mission, la Russie semble travailler au développement de missiles air-air antiradar à très longue portée, qui pourraient être au moins aussi intéressants que leurs équivalents sol-air tels que le FT-2000 chinois (*cf. infra*) dans la mesure où leur cible ne pourrait interrompre ses émissions radar sans plonger leur camp dans la confusion⁽⁴⁹⁾. Si les chasseurs de 5^e génération chinois ne devraient pas pouvoir rivaliser terme à terme avec les F-22, ils

(48) Voir par exemple *Countering Air and Missile Threats*, Washington, Department of Defense/Joint Staff, Joint Publication 3-01, 23 mars 2012, p. III-21.

(49) Carlo Kopp, «Post Cold War Air to Air Missile Evolution», *Defence Today*, mars 2009, p. 57. On peut d'ailleurs imaginer qu'il serait possible d'associer au système de guidage antiradar du missile air-air un système de guidage à radar actif ou infrarouge, afin de pouvoir continuer à suivre sa cible malgré une interruption des émissions radar. Une telle option aurait néanmoins pour conséquence probable de réduire la portée du missile.

pourraient être efficaces dans des missions d'attaque de HVAA à longue distance⁽⁵⁰⁾. Frapper un ou plusieurs HVAA occidentaux restera donc extrêmement difficile, mais il apparaît important de ne pas négliger le potentiel de surprise que recèle le chaos d'une bataille aérienne moderne, au cours de laquelle des intercepteurs – voire des drones – volant en ayant éteint leur radar actif en mission extrêmement risquée – ou suicide – pourraient parvenir à traverser la formation aérienne occidentale (COMAO) pour atteindre les HVAA⁽⁵¹⁾.

La seconde faiblesse des forces aériennes occidentales pouvant être exploitée a trait à ses volumes de plus en plus contraints. La réduction du nombre de plateformes affecte tous les alliés, y compris – dans une moindre mesure – les États-Unis, et est à l'origine d'une sensibilité accrue aux effets de l'attrition. Les effets conjugués de la létalité accrue du champ de bataille aérien, de la diminution de la taille des flottes et de l'incapacité à combler les pertes éventuelles semblent jouer au désavantage des forces occidentales. Ces effets seraient encore accrus si les pays occidentaux se trouvent engagés dans un conflit ne mettant pas en jeu leurs intérêts vitaux, situation correspondant à la majorité des opérations actuelles et renforçant la réticence à la prise de risque.

Le rapport de forces serait d'autant plus défavorable si les forces aériennes occidentales étaient en posture d'élongation, réduisant drastiquement la durée qu'un appareil peut passer sur zone par sortie. À l'horizon 2030, du fait de la conjonction de ces facteurs, les forces aériennes occidentales pourraient ainsi se trouver dans des situations d'infériorité numérique marquée. Dans un tel contexte, la qualité des plateformes et des pilotes devrait leur laisser un avantage considérable, qui pourrait néanmoins se heurter à plusieurs limites. D'abord, la réduction potentielle du fossé technologique séparant les appareils occidentaux de leurs adversaires. Ensuite, la grande différence entre les capacités de génération de sorties aériennes pour un défenseur et pour un attaquant en élongation à l'avantage net du premier. Enfin, des limites absolues à la supériorité des chasseurs occidentaux – par exemple, leurs capacités d'emport de missiles air-air en soute (six missiles transhorizon pour le F-22, quatre pour le F-35, contre huit pour le T-50)⁽⁵²⁾.

Il est enfin possible d'imaginer des modes d'emploi combinant effectivement attrition et ciblage des HVAA. Le recours à des plateformes non habitées et/ou peu onéreuses en grand nombre pourrait être envisagé dans le cadre d'un plan visant à épuiser le nombre de missiles air-air restant en soute, réduisant progressivement la force défensive des unités aériennes occidentales et leur capacité à protéger les HVAA.

(50) Entretien avec des experts civils et militaires.

(51) Entretien avec des experts militaires.

(52) Ceci rejoint à la fois les leçons d'une simulation d'affrontement réalisée par le CSBA pour le compte de l'ONA, et de la RAND pour l'USAF. Entretien avec des experts civils ; Stillion et Perdue, *Air Combat Past, Present and Future*, op. cit., p. 40-53.

Il est donc possible de discerner plusieurs tendances affectant d'ores et déjà le combat aérien, et qui, selon toute probabilité, l'affecteront encore au cours des deux prochaines décennies. La diffusion de radars modernes, de plateformes AEW&C et de missiles transhorizon auprès d'un nombre croissant d'adversaires devrait renforcer les capacités défensives de leurs forces aériennes. Ces changements, comme la fin du monopole américain sur les chasseurs de 5^e génération, devraient progressivement réduire la marge de supériorité dont disposent les forces aériennes occidentales sans pour autant la faire totalement disparaître, celle-ci reposant à la fois sur des équipements supérieurs et sur une compétence tactique associée à une expérience opérationnelle riche. Ils ouvrent pourtant la voie à des modes d'action pouvant exploiter certaines faiblesses propres aux forces aériennes conduisant une opération de projection, en combinant compensation qualitative et quantitative de leur infériorité pour essayer d'atteindre des effets d'attrition, ou en cherchant à créer la surprise pour déstabiliser la conduite des opérations par des destructions aux effets systémiques. Ce renforcement des capacités aériennes des puissances militaires régionales de premier ou second rang aura un impact d'autant plus grand dans les situations où il sera complété par – et intégré avec – une composante sol-air multicouches et moderne.

TENDANCES ET ÉVOLUTIONS DE LA MENACE SOL-AIR

En dépit d'une culture occidentale de la guerre qui tend à considérer le duel aérien comme l'horizon décisif de la bataille pour la supériorité aérienne, l'histoire démontre que l'essentiel de la contestation vient généralement du sol (*cf. supra*, partie 1). Après avoir été éclipsés pendant deux décennies par le triomphe d'un *airpower* invaincu, les systèmes de missiles sol-air (SAM) constituent aujourd'hui le défi le plus direct à la suprématie aérienne.

En effet, au lendemain de la guerre du Golfe, le triomphe de la puissance aérienne et le succès des missions SEAD n'ont pas découragé les adversaires de l'ancien bloc occidental : bien au contraire, c'est dans le domaine sol-air que la demande a crû le plus fortement, alors même qu'une compétition symétrique air-air semblait hors de portée. Portée par l'ancienne industrie de défense soviétique, largement privatisée dans les années 1990, l'innovation technologique en la matière semble annoncer à plus ou moins brève échéance l'émergence d'une nouvelle donne opérationnelle, qui pourrait peut-être même déboucher sur une redéfinition drastique de l'équilibre attaque-défense. Dans le même temps, la diffusion de ces technologies complète le tableau qualitatif par une transformation géostratégique à même de modifier sinon les équilibres internationaux, du moins les rapports de forces.

UN NOUVEL ÂGE TECHNOLOGIQUE SINO-RUSSE POUR LES SYSTÈMES DE SAM

Depuis la fin de la guerre froide et le déclenchement de « l'ère des interventions »⁽⁵³⁾, les nations occidentales se sont habituées à rencontrer une menace sol-air immuable sous la forme de systèmes d'origine soviétique dits de première et seconde générations (SA-1 à SA-9 dans la classification OTAN), exportés dans les pays du tiers-monde pendant les années 1970. Au cours des années 1990-2000, l'effondrement soviétique et la fin de la guerre froide ont privé ces pays d'un entretien suivi de leur SDAI, laissant ainsi dans nombre de cas des systèmes devenir de plus en plus obsolètes au fur et à mesure que progressait la technologie aérienne des frappes de précision à distance de sécurité.

Ainsi, lorsque la coalition internationale, menée par les États-Unis, la France et le Royaume-Uni, intervient en Libye au mois de mars 2011, elle doit faire face à des systèmes SA-3, SA-6 et SA-8 introduits dans les années 1960 et 1970, et parfaitement connus des Occidentaux. Les unités occidentales ont pu se familiariser avec ces systèmes dans le cadre du polygone de guerre électronique (PGE, franco-allemand), qui combine des systèmes récupérés et des formateurs issus d'ex-Allemagne de l'Est capables d'expliquer les méthodes et organisations soviétiques. Les renseignements possédés sur les capacités sol-air libyennes ne faisant pas mention de modernisation, les Français et Britanniques ont entamé l'opération « d'entrée en premier », confiants dans leur connaissance et leur capacité à gérer la menace sol-air⁽⁵⁴⁾.

LES SAM DE TROISIÈME ET QUATRIÈME GÉNÉRATIONS

Cette persistance des systèmes de première et seconde générations ne doit pourtant pas occulter le développement depuis plus de trente ans de plateformes nettement plus performantes et aujourd'hui arrivées à maturité. Dans l'ombre de la révolution dans les affaires militaires (RMA), se développe ainsi une contre-révolution SAM illustrée par l'apparition de systèmes connus sous l'appellation de *double digit SAMs*⁽⁵⁵⁾ et qu'il est possible de présenter comme des technologies de troisième et quatrième générations.

Face à l'émergence des nouveaux moyens occidentaux dans le domaine de la SEAD (*Wild Weasel*, *Shrike*, brouillage, etc.), l'URSS développe au cours des années 1980 une troisième génération de systèmes dans la foulée du premier S-300P (SA-10) introduit en 1978 et destiné à remplacer les SAM stratégiques S-75 (SA-2) et S-200 (SA-5) des décennies précédentes. Le S-300P apparaît vite comme franchissant un nouveau seuil dans le domaine sol-air de par son radar à balayage de phases, longue portée et résistant au brouillage, sans compter sa capacité à engager simultanément plusieurs cibles à grande vitesse. Parallèlement, apparaissent des SAM de courte et moyenne portées extrêmement

(53) Étienne de Durand, « Sécurité et défense. Vers la fin des interventions ? », in Thierry de Montbrial et Philippe Moreau Defarges, *RAMSES 2012*, Paris, Dunod, 2011, p. 55-57.

(54) Entretien avec des experts militaires.

(55) Le terme « *double-digit SAMs* » se réfère à classification OTAN et inclut par conséquent l'ensemble les systèmes désignés au-delà de SA-10.

mobiles à partir de la série *Strela* (SA-13), *Buk* (SA-11), *Tunguska* (SA-19), et *Tor* (SA-15), introduits respectivement en 1979, 1980, 1982 et 1986, et conçus pour accompagner l'avance des forces terrestres soviétiques en cas de conflit en centre-Europe (cf. supra).

Après une baisse importante des crédits dans la première partie de la décennie 1990 suite à l'effondrement de l'URSS, les industries de défense russes, et dans une moindre mesure chinoises, ont largement réinvesti le domaine de la défense sol-air, permettant le développement et l'introduction à partir de la fin des années 1990 et du début des années 2000 d'une quatrième génération de systèmes. Bâtie à partir de la technologie des années 1980, associée à un nouvel environnement informatique et électronique, cette quatrième génération de SAM est d'abord illustrée par les versions modernisées des S-300PMU1 (1992), PMU2 (1997), puis PMU3 (2007), cette dernière version étant également connue sous le nom de S-400 (SA-21). Parallèlement, ces systèmes stratégiques sont complétés par des mises à jour de SAM à courte et moyenne portée comme les 9K40 *Buk* M2 et M3 (SA-17) et les *Pantsyr*-S1 (SA-22) portant tout de même jusqu'à 45 km dans le cas des premiers.

Alors qu'une 5^e génération est actuellement en développement en Russie autour d'un programme baptisé S-500 dont l'entrée en service est prévue pour le début des années 2020⁽⁵⁶⁾, il convient de se pencher plus précisément sur les performances de ces systèmes auxquels les forces aériennes occidentales n'ont encore jamais été confrontées.

LES NOUVEAUX RADARS ET LA REMISE EN CAUSE DES CAPACITÉS SEAD

À bien des égards, les radars d'engagement des batteries de missiles sol-air constituent le cœur de l'efficacité opérationnelle des systèmes. Depuis les années 1970 en effet, la domination occidentale des airs est avant tout une domination du champ électromagnétique : qu'il s'agisse de brouillage offensif, de munitions antiradar ou de furtivité, toutes les technologies de suprématie aérienne sont marquées par une avance occidentale⁽⁵⁷⁾.

La principale évolution des nouvelles générations des systèmes SAM est sans conteste l'introduction et, à brève échéance la généralisation⁽⁵⁸⁾, des radars actifs à balayage électronique (AESA)⁽⁵⁹⁾. Ces derniers disposent de composants électroniques agissant sur la fréquence, la direction voire la forme des ondes émises par l'antenne. Par conséquent, là où les anciens systèmes fonctionnaient sur une seule fréquence et forme d'onde, ces radars permettent de sauter en un temps très court d'un canal à un autre conduisant ainsi à un étalement

(56) « S-500 », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 23 janvier 2014, p. 1.

(57) Rebecca Grant, *The Radar Game : Understanding Stealth and Aircraft Survivability*, Arlington, VA, Mitchell Institute Press, septembre 2010.

(58) Entretien avec des experts civils et militaires.

(59) Sanjay Poduval, « Electronic Warfare In The 21st Century », *Air Power Journal*, vol. 3 n° 2, été 2008, p. 57 ; Sanjay Poduval, *Electronic Warfare. War in the fourth Dimension*, New Dehli, KW Publishers, Ltd, 2009, p. 161-165.

de spectre par évansion de fréquence (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)⁽⁶⁰⁾. Cette technologie est rendue possible par des progrès des processeurs informatiques et l'introduction de composants dit d'état solide (*solid-state*), augmentant considérablement la vitesse de calcul et permettant ainsi la prise en compte d'un nombre de données considérables impliquées par le balayage.⁽⁶¹⁾

L'accroissement de la portée et de la précision est la première conséquence de l'introduction de la technologie électronique. Le traitement numérique des données rend l'usage des signaux électromagnétiques plus précis et offre en même temps une interface utilisateur plus intuitive⁽⁶²⁾. À la manière du 64N8 *Big Bird*⁽⁶³⁾, associé au S-300PMU1/2, les radars à balayage peuvent désormais varier les directions et ainsi obtenir par triangulation une image de la cible en trois dimensions. Le recours aux composants électroniques et à des processeurs performants permet également d'accroître l'angle couvert par le radar ainsi que sa portée, portant dans certains cas (S-300PMU1/2, S-400) au-delà de l'horizon électromagnétique, permettant d'engager des cibles à plus de 100 km de distance. Ces nouvelles performances, associées à des vecteurs également renouvelés (*cf. infra*), constituent assurément un défi en termes d'allonge du modèle occidental de frappes de précision à distance de sécurité.

Une autre conséquence de la multiplicité des fréquences utilisées permise par l'emploi de centaines d'émetteurs/récepteurs, est la capacité à traquer plusieurs cibles à grande vitesse en même temps et de manière indépendante. Cette dimension multifonction des radars AESA permet aussi l'emploi d'une fonction de brouillage spécifique (nécessitant une importante puissance) parallèlement à un emploi de radar classique de surveillance de l'espace.⁽⁶⁴⁾

Enfin, la technologie AESA permet surtout une très forte résistance aux mesures et contre-mesures de guerre électronique, notamment face au brouillage offensif⁽⁶⁵⁾. De fait, l'étalement spectral des radars a pour effet de neutraliser les interférences des brouilleurs émettant sur une fréquence spécifique. S'il est théoriquement possible de brouiller sur un spectre plus étendu de fréquences, la puissance nécessaire et les conséquences pour l'appareil brouilleur – qui tend ainsi à se rendre « sourd et muet » – semble rendre cette option difficilement praticable⁽⁶⁶⁾. L'étalement spectral pourrait également remettre en question le système de guidage des munitions antiradar de type AGM-88 HARM,

(60) « 64L6E Gamma-S1E surveillance radar », *Jane's Radar and Electronic Warfare Systems (online)*, 24 mai 2010.

(61) Carlo Kopp, « Evolution of AESA Radar Technology », *Microwave Journal*, août 2012.

(62) Entretien avec un expert militaire.

(63) « Big Bird early warning radar », *Jane's Radar and Electronic Warfare Systems (online)*, 10 octobre 2011.

(64) Carlo Kopp, « Evolution of AESA Radar Technology », *Microwave Journal*, août 2012.

(65) Carlo Kopp, « Surviving the Modern Integrated Air Defence System », *Air Power Australia Analysis*, 3 février 2009.

(66) Entretien avec des experts militaires ; sur ce point, voir également « Can AESA be jammed ? », *World Affairs Board*, accessible à l'adresse : <http://www.worldaffairsboard.com/military-aviation/54249-can-aesa-jammed-1.html>

dès lors que celles-ci sont calibrées pour suivre une fréquence spécifique et ne possèdent pas d'autre moyen de guidage principal.

Une autre voie développée par les systèmes soviétiques et chinois en matière de résistance à la guerre électronique est celle des radars dits passifs. Le principe directeur de ce concept technologique est de n'employer le radar d'engagement ou d'acquisition des cibles qu'en tant que récepteur, les ondes renvoyées par la cible étant émises par un réseau d'antennes déjà déployées pour des raisons variées (radio, télécommunications, etc.)⁽⁶⁷⁾. Le radar passif doit disposer de processeurs suffisamment puissants pour calculer la position de la cible par triangulation des ondes reçues de multiples provenances. L'avantage est que le récepteur étant strictement passif, il est indétectable par les outils ROEM et ne peut donc servir de cible aux pods de brouillage offensif ni d'ailleurs aux munitions à guidage antiradar. Du point de vue des missions SEAD, les radars passifs produisent le même effet que l'interruption systématique des émissions constatée en Irak et au Kosovo, tout en laissant le système SAM qui en est équipé parfaitement opérationnel. Les batteries sol-air russes et chinoises ont désormais généralisé le recours à ce type de systèmes passifs avancés en accueillant des radars tels que la série 65V6 *Orion/Vega* pour les Russes ou le YLC-20 pour les Chinois. La généralisation de ces capteurs passifs est désormais considérée par les autorités du Pentagone comme l'un des éléments les plus préoccupants dans le tableau de la menace sol-air à l'horizon 2030⁽⁶⁸⁾.

Le recours à un tel modèle de radars bistatiques ou multistatiques (avec une ou plusieurs sources émettrices distinctes du récepteur) est également susceptible d'avoir un impact considérable sur la survivabilité des plateformes furtives. La furtivité américaine, fondée sur des matériaux et des formes du fuselage précis, a été optimisée pour des radars conventionnels où le récepteur est confondu avec l'émetteur ; les plateformes furtives sont en revanche considérées comme étant « moins efficaces face à une géométrie radar bistatique »⁽⁶⁹⁾.

Le travail sur les formes d'ondes est un autre facteur de remise en cause de la furtivité⁽⁷⁰⁾. La furtivité, telle que développée par l'USAF depuis la fin des années 1970, est en effet fondée sur l'évitement de formes d'ondes très précises, essentiellement limitées à la bande de fréquence dite « X » (de 8 à 12 GHz) du spectre électromagnétique – cette forme d'ondes étant celle employée jusque-là par les radars d'engagement des systèmes SAM. Or, un matériel dont la signature radar a été réduite pour un type de bande pourrait avoir une signature bien supérieure dans une autre partie du spectre⁽⁷¹⁾. La physique des ondes métriques à décimétriques (de 30 MHz à 500 MHz), dites VHF et UHF, accroîtrait natu-

(67) Arend G. Westra, « Radar versus Stealth. Passive Radar and the Future of US Military Power », *Joint Forces Quarterly*, n° 55, 2009, p. 136-143.

(68) Entretien avec des experts civils et militaires.

(69) Westra, « Radar versus Stealth », *op. cit.*, p. 138.

(70) Entretien avec des experts militaires.

(71) Carlo Kopp, « Evolving Technological Strategy in Advanced Air Defense Systems », *Joint Forces Quarterly*, n° 57, 2010, p. 86-93.

rellement la SER en entrant en résonance avec l'appareil, indépendamment du matériau ou du fuselage de ce dernier⁽⁷²⁾. Alors que les radars VHF existaient depuis longtemps sur les SAM soviétiques, ces derniers étaient jusqu'alors très imprécis, fonctionnaient mal face aux vols à basse altitude et au brouillage. Depuis la fin des années 1990, la Russie a développé une nouvelle série de radars VHF extrêmement précis, *via* l'utilisation notamment de la technologie AESA. C'est par exemple le cas du radar NNIIRT 55Zh6 *Nebo U* qui équipe le nouveau système S-400⁽⁷³⁾. L'emploi d'ondes VHF par les antennes de télévision hertziennes permet également d'imaginer un rôle important des radars passifs dans cette perspective de remise en cause de la furtivité.⁽⁷⁴⁾

Enfin, il importe également de souligner les progrès importants réalisés par les technologies radars dans le domaine des ondes courtes, EHF, infrarouge et visibles (électro-optique) en construisant sur le principe que « nul n'est invisible sur la totalité du spectre »⁽⁷⁵⁾. Malgré le revêtement et le profil d'un chasseur furtif, voler à Mach 1.5 produit une forte chaleur, qui est de fait très visible par des capteurs infrarouges.⁽⁷⁶⁾ Ces technologies dépendent toutefois des conditions météorologiques, les rendant ainsi plus adaptées au guidage terminal qu'à la détection à longue portée⁽⁷⁷⁾. Les progrès accomplis par les vecteurs sol-air constituent en effet la seconde composante de la nouvelle génération SAM.

DES EFFECTEURS PLUS PERFORMANTS ET PLUS RÉSILIENTS

Si le radar constitue assurément le cœur des systèmes sol-air, le complexe lanceur-missile (effecteur) reste la condition nécessaire pour la mise en œuvre de la mission de défense aérienne. Dans ce domaine également, les 3^e et 4^e générations de systèmes SAM présentent des caractéristiques qui pourraient rapidement se révéler être des facteurs de bouleversement de l'équilibre attaque-défense dans le domaine aérien. Les grands domaines affectant les effecteurs sont la portée, la vitesse et la cinématique, le guidage terminal, mais également la mobilité des lanceurs et les mesures d'autoprotection.

Portée. L'accroissement de la portée des missiles sol-air est un corollaire assez naturel à l'accroissement de la portée des radars évoquée précédemment. La série des missiles 48N6E déployés sur les S-300PMU1/2 ainsi que sur les S-400 atteint désormais 250 km de portée et un plafond de 27 km⁽⁷⁸⁾. De même, la version chinoise du S-300, désignée HQ-9 et déployée officiellement depuis 2008, disposerait de missiles portant jusqu'à 200 km. Des

(72) Westra, « Radar versus Stealth », *op. cit.*, p. 140.

(73) Kopp, « Evolving Technological Strategy », *op. cit.*, p. 90. Le système S-300 PMU1 disposerait également de kits radars d'engagement « silencieux » Kolchuga-M initialement développés en Ukraine, cité in « S-300P », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 26 février 2013, p. 7. Sur le 55Zh6 voir, « S-400 », *ibidem*, 15 janvier 2014, p. 4.

(74) Westra, « Radar versus Stealth », *op. cit.*, p. 140.

(75) Entretien avec des experts militaires.

(76) Entretien avec des experts civils.

(77) Poduval, *Electronic Warfare*, *op. cit.*, p. 163-164.

(78) « S-300P », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 26 février 2013, p. 12.

sources indiquent également la livraison en 2012 pour les S-400 de missiles 40N6 *Triumfator* d'une portée de 400 km⁽⁷⁹⁾. De telles portées, inédites dans le domaine sol-air, procèdent assurément d'une volonté de mettre en échec le modèle occidental de guerre reposant sur les frappes de précision à distance de sécurité. Ainsi, la dernière version de missile antiradar américain HARM, l'AGM-88E AARGM, dispose d'une portée d'une centaine de kilomètres⁽⁸⁰⁾, ce qui se révélerait insuffisant pour atteindre «à distance de sécurité» cette nouvelle génération de SAM.

L'accroissement de la portée des missiles SAM révèle également une doctrine aérienne sino-russe focalisée sur la lutte contre les moyens C4ISR (AWACS, JSTARS, etc.) et logistiques (ravitailleurs en vol) de l'adversaire⁽⁸¹⁾. Ces moyens à haute valeur mais extrêmement rares (*High Value Airborne Assets*) sont généralement protégés par la distance qui les sépare de l'adversaire. Avec une portée de 400 km, le missile 40N6 du S-400 a clairement été identifié comme capable de cibler un avion AWACS et certainement d'interdire toute forme de couverture ISR aérienne. Déjà le déploiement de SA-20 russes aurait dissuadé l'OTAN de déployer un avion AWACS à des fins d'observation durant le conflit géorgien de 2008⁽⁸²⁾. Pour ces raisons également, l'accroissement de la portée des nouveaux systèmes SAM pourrait considérablement remettre en cause le modèle de guerre aérienne employé depuis la guerre du Golfe.

Vitesse et cinématique. Les progrès en matière de vitesse et de cinématique des vecteurs sol-air complètent et renforcent les effets de l'augmentation de la portée. Selon des stratèges américains du Pentagone, l'accroissement de la vitesse des missiles constitue *a priori* l'une des évolutions les plus dangereuses dans le domaine des SAM – dès lors que les procédures et l'entraînement même des forces aériennes sont fondés sur l'hypothèse que l'on dispose d'un certain temps pour réagir entre le tir et l'impact potentiel⁽⁸³⁾. Par exemple, les systèmes S-300V (SA-12/SA-23) disposent désormais de nouveaux missiles 9M82 avec une vitesse supérieure à 8 600 km/h⁽⁸⁴⁾. Même les systèmes de moyenne portée sans vocation antimissile, tels que les 9M38 équipant les systèmes 9K37 *Buk* M1 (SA-11), disposent désormais d'une vitesse initiale de l'ordre de 4 500 km/h. Une série de tests réalisés par la firme russe Almaz durant les années 1990 a également permis de mettre en évidence l'intérêt de

(79) *Ibidem*, «S-400», 21 décembre 2012, p. 3; Carlo Kopp, «Almaz-Antey 40R6/S-400 Triumf/Self-Propelled Air Defence System/SA-21/Самоходный Зенитный Ракетный Комплекс 40Р6/С-400 'Триумф'», *Australia Air Power* (online), mai 2009.

(80) «Plus de 111 kilomètres» selon l'annuaire *Jane's C4ISR & Mission Systems : Air* (online), «Alliant Techsystems (ATK) AGM-88E Advanced Anti-Radiation Guided Missile (AARGM)/Affordable Reactive Strike missile (ARES)», 8 octobre 2012, p. 3.

(81) Roger Cliff, *et al.*, *Entering the Dragon's Lair. Chinese Antiaccess Strategies and Their Implications for the United States*, Santa Monica, RAND Corporation, 2007, p. 51.

(82) Kelly Martin (USAF) et Oliver Fritz, «Sustaining the Air Commons», in Abraham M. Denmark *et al.*, *Contested Commons : the Future of American Air Power in a Multipolar World*, Center for a New American Security, janvier 2010, p. 94.

(83) Entretien avec des experts civils et militaires.

(84) «S-300V», *Jane's Land Based Air Defence* (online), 26 février 2013.

nouveaux profils de vol adoptant une trajectoire balistique au lieu du traditionnel « *climb-cruise-home* »⁽⁸⁵⁾. Cette nouvelle cinématique, adoptée par les missiles 48N6E opérés par les S-300PMU1/2 et les S-400, accroît non seulement la portée mais également la vitesse du missile qui bénéficie ainsi de la gravité au moment de « plonger » sur la cible – à condition que celle-ci ne suive pas elle-même une trajectoire balistique descendante⁽⁸⁶⁾.

Guidage terminal. Parallèlement au profil de vol, le système de guidage des missiles s'est lui-même modernisé. Croisant avec les progrès réalisés dans le domaine des radars d'engagement et prenant en compte l'évolution des contre-mesures électroniques placées à bord des avions, la « tête » des nouveaux SAM intègre désormais presque systématiquement un guidage multispectral combinant le traditionnel radar avec des guidages infrarouges, laser, ou électro-optique pratiquant des formes plus ou moins évoluées d'imagerie. Dans certains cas, les modes retenus peuvent être choisis juste avant le tir, pour s'adapter aux contre-mesures les plus probables⁽⁸⁷⁾. Les contre-mesures électroniques (CCME) ont été multipliées, permettant de limiter l'effet des leurres ou du brouillage défensif⁽⁸⁸⁾. Plus inquiétant encore est la dotation dans le cas du FT-2000 chinois, variante du HQ-9, d'un nouveau kit de guidage antiradar calibré sur la bande 2-6 GHz (bande S), c'est-à-dire précisément celle des avions AWACS – le système a d'ailleurs été surnommé « *AWACS killer* »⁽⁸⁹⁾. Cette capacité de guidage antiradar complète les extensions de portée et de vitesse et participe plus généralement à une posture de déni d'accès et de frappe contre les moyens ISR de l'adversaire.

Autoprotection. L'amélioration de la performance des effecteurs ne concerne pas que les missiles mais également les lanceurs et les véhicules associés. Ces derniers ont en effet vu leur autoprotection renforcée. Une tendance émergente depuis les années 1990 est le développement de mesures de protection active, cinétiques ou électroniques. Il s'agit d'une capacité qui s'insère dans le cadre d'une approche multicouche, et sur laquelle les nouveaux SAM misent aujourd'hui comme argument de vente.⁽⁹⁰⁾ Les systèmes de courte et moyenne portée *Tor* (SA-15) et *Pantsyr SI* (SA-22) auraient ainsi été dotés de capacités antimissiles avec pour objectif identifié d'engager « des missiles de croisière, des bombes guidées ou des drones »⁽⁹¹⁾. Les armes antiradar sont naturellement les premières concernées par ce type de contre-mesures cinétiques. Sur le plan

(85) Kopp, « Evolving Technological Strategy », *Joint Forces Quarterly*, *op. cit.*, p. 89.

(86) La trajectoire balistique pour les SAM n'est pas adaptée à l'interception de missiles eux-mêmes balistiques.

(87) Entretien avec des experts civils.

(88) « S-300P », p. 9 ; « S-300V », *Jane's Land Based Air Defence*, p. 3 ; « 9K37 Buk », *Jane's Land Based Air Defence*, p. 6.

(89) « HQ-9/FT-200 », *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 11 octobre 2011, p. 2 ; Poduval, *Electronic Warfare*, *op. cit.*, p. 61.

(90) D'où l'importance de l'intégration des systèmes, les *Tor* et les *Pantsyr* pouvant ainsi servir de protection aux systèmes de plus longue portée de type S-300. Entretien avec des experts civils et militaires ; Carlo Kop, « Surviving the modern Integrated Air Defence System », *op. cit.*, p. 7.

(91) « Tor », *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 17 décembre 2012, p. 6.

électromagnétique, les systèmes intègrent désormais des brouilleurs défensifs rudimentaires mais suffisants pour poser des problèmes à des munitions air-sol, n'étant pas nécessairement dotées de CCME. Il en va ainsi de capacités de brouillage de signaux GPS, qui peuvent être issues de technologies civiles et ensuite militarisées, relativement aisées à mettre en place (« des étudiants le font pour s'amuser ») et largement diffusées par la Russie, le Belarus, l'Iran, etc.

Mobilité et camouflage. D'après les termes mêmes du chef d'état-major de l'armée de l'air russe, le général Vladimir Mikhailov, « le temps des systèmes statiques est définitivement révolu »⁽⁹²⁾. La mobilité tactique des effecteurs a considérablement été améliorée et confère désormais à tous les SAM de nouvelle génération, même stratégiques, une capacité dite *shoot and scoot* qui les rend capables de quitter leur site dans les 10 minutes, au moyen de châssis motorisés directement intégrés au système de lancement – là où les anciens systèmes chenillés n'étaient pas nécessairement aussi faciles à déplacer⁽⁹³⁾. Si les grands SAM stratégiques restent plus lents à se mouvoir et plus dépendants des flux logistiques, un effort d'autonomie a été également apporté comme le montre la création d'une « base mobile de réparation » pour le S-300PMU1/2, monté sur un véhicule tout terrain, et disposant du système AS5-2 capable de faire un diagnostic sur l'état de fonctionnement de 90 % des composants électroniques, réduisant ainsi les besoins en termes de maintenance⁽⁹⁴⁾. La doctrine russe intègre désormais la mobilité au cœur de son concept de défense intégrée au point de parler d'*Integrated Mobile Air Defence System* (IMADS).

Enfin, la multiplication de moyens de camouflage multispectral (visuel, chaleur, radar, etc.), qu'il est assez aisé de se procurer et qu'aucun régime de contrôle légal ne saurait endiguer, est là encore une source de nouvelle résilience des effecteurs SAM – qui évoluent ainsi vers des tactiques qui ne sont pas sans rappeler celles du tireur embusqué. Dans le même ordre d'idée, la diffusion de moyens de déception (*decoys*) avancés, capables de simuler une émission radar d'un SAM, représente un véritable défi⁽⁹⁵⁾. Ce type de technologie pourrait jouer sur l'épuisement des faibles volumes des armes antiradar du fait de leur coût élevé⁽⁹⁶⁾.

(92) « S-500 », *Jane's Land Based Air Defence* (online), 21 décembre 2012, p. 1.

(93) Carlo Kopp, « SAM System Mobility : Russian and PLA Air Defence System Vehicles », *Australian Air Power*, avril 2012, p. 6.

(94) « S-300P », *Jane's Land Based Air Defence* (online), 26 février 2013, p. 10.

(95) Un expert consulté rapporte avoir vu un dispositif de déception de fabrication chinoise lors d'un salon d'armement non-classifié. Entretien avec des experts civils et militaires.

(96) 870 000 dollars pour l'AGM-88E AARGM selon l'annuaire *Jane's C4ISR & Mission Systems : Air* (online), « Alliant Techsystems (ATK) AGM-88E Advanced Anti-Radiation Guided Missile (AARGM)/Affordable REactive Strike missile (ARES) », 8 octobre 2012, p. 3.

Enfin, par-delà les progrès des radars ou des effecteurs, c'est la capacité à les insérer dans un système de défense intégré qui est peut-être la principale évolution des nouvelles générations de systèmes sol-air⁽⁹⁷⁾. Ces technologies offrent désormais la possibilité d'avoir un système C2 mobile et multispectral (téléphone portable, Wi-Fi, radiofréquences, etc.) ce qui rend la résilience et la redondance beaucoup plus aisées à obtenir que pendant la guerre froide⁽⁹⁸⁾. La mise en réseau de radars d'alerte avancée permet par exemple une forme évidente d'optimisation du SDAI, en conduisant à l'accroissement de sa portée et de sa performance – les batteries pouvant éventuellement déclencher un tir avant même l'apparition de la cible sur leur propre radar d'engagement, et avant même que la cible n'ait pénétré dans la zone à portée du missile.

Une telle fusion de données exige cependant des matériels et surtout des logiciels suffisamment puissants. À cet égard, les nouveaux systèmes SAM de fabrication russe ou chinoise ont pleinement bénéficié de la diffusion et de la démocratisation des technologies de l'information. Qu'il s'agisse de matériels (*hardware*) achetés sur étagère – généralement produits en Chine – ou de logiciels *open source* tels que le système d'exploitation *Linux* ou le langage de programmation *C++*, les systèmes de défense sol-air non occidentaux ont largement amorcé leur rattrapage informatique. Les liaisons de données numérisées ont également connu des progrès importants notamment en matière de connectivité sans fil.

Le système C2 mobile Almaz 83M6, généralement associé au S-300 est un bon exemple des progrès réalisés en matière d'intégration par la technologie SAM. Ce dernier est capable d'acquérir, d'identifier et de traquer jusqu'à 100 cibles différentes en croisant les données reçues par plusieurs radars AESA ; de coordonner jusqu'à six batteries SAM de différentes portées et de leur communiquer des données de tirs ; de choisir au dernier moment les CCME les plus adaptées, compte tenu de l'environnement ; et enfin, d'intégrer l'espace de bataille aérien avec une flotte d'interception *via* son système *Identification Friend or Foe* (IFF). Un tel système C2, s'il est résilient et redondant, rendra la mise en œuvre des missions SEAD plus difficile⁽⁹⁹⁾.

En conclusion de ce premier tour d'horizon capacitaire des systèmes SAM de nouvelle génération, il apparaît que les industries de défense russes et chinoises ont, sinon révolutionné, du moins transformé en profondeur la nature de la menace sol-air. En tirant les leçons d'une observation fine des capacités offensives occidentales, les tacticiens de la défensive posent aujourd'hui un véritable défi à la suprématie aérienne incontestée depuis 1991. Ceci étant, rares sont les pays capables de se doter, même à moyen terme, de l'ensemble des capacités décrites au cours des pages précédentes. Il importe donc de s'interroger sur les

(97) C'est en tout cas l'avis de la quasi-totalité des experts rencontrés.

(98) Entretien avec des experts civils et militaires.

(99) « S-300P », *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 26 février 2013, p. 9.

dynamiques de prolifération et de dissémination internationales des systèmes, et plus généralement des capacités associées à la menace sol-air.

DYNAMIQUES DE DIFFUSION DES CAPACITÉS SOL-AIR

De toute évidence, la Russie et, depuis quelques années seulement, la Chine sont à ce jour les deux seules sources de technologies sol-air excédant la très courte portée. Bien que le degré d'autonomisation de la R&D chinoise en la matière soit difficile à établir et que les conditions de coopération restent inconnues, ces deux industries semblent encore très liées l'une à l'autre⁽¹⁰⁰⁾. En dépit de l'intérêt nourri à l'égard des capacités sol-air, de l'amélioration des performances et de la relative maîtrise des coûts, le tableau mondial ne semble pas avoir connu l'explosion prédite par certains du nombre de systèmes déployés⁽¹⁰¹⁾. Ceci étant, les tendances à la diffusion internationale des capacités sol-air méritent d'être étudiées de manière plus approfondie et différenciée.

LES SYSTÈMES SOL-AIR SUR LE MARCHÉ DE L'EXPORT

Le processus de diffusion peut prendre différentes formes : le développement de nouveaux matériels de manière endogène (prolifération) et de manière exogène (dissémination). Compte tenu de la structure internationale des industries de défense, seul le second cas semble crédible en ce qui concerne la diffusion à moyen terme de systèmes de missiles sol-air – le développement endogène étant généralement limité à des améliorations mineures voire à une simple requalification d'un système acheté sur étagère. La diffusion à l'export de systèmes SAM performants est l'une des priorités de l'industrie de défense russe, qui est le deuxième exportateur de matériel militaire mondial avec 15 milliards de dollars d'exportations en 2012 (contre 13 milliards en 2011 et 10 en 2010)⁽¹⁰²⁾. Alors que l'organisme russe d'export d'armement *Rosoboronexport* (ROE) tente depuis plusieurs années de « sortir du ghetto des marchés chinois et indiens »⁽¹⁰³⁾, les systèmes SAM constituent des produits de choix sur le marché de l'export. C'est ainsi qu'il faut interpréter le contrat qui a permis la livraison de huit batteries de S-300PMU-2 (SA-20) à l'Algérie en échange d'un accord pétrolier favorable à la Russie⁽¹⁰⁴⁾.

L'exportation de ce type de matériels n'est cependant pas anodine sur le plan politique, et les contraintes de l'environnement international ont pour effet de limiter la diffusion des systèmes les plus stratégiques. La négociation autour de la vente de ces mêmes S-300 à l'Iran est un parfait exemple des limites posées à la diffusion des grands systèmes. Entamées en 2001, les négociations pour l'achat des S-300 ont échoué une première fois à la fin 2005, suite à diverses

(100) Voir par exemple les proximités entre le HQ-9/FT2000 et le S-300P in *Jane's Land Based Air Defence (online)*, « HQ-9/FT-2000 », *op. cit.*

(101) Entretiens avec des experts civils.

(102) « Russian Federation », *Jane's World Defence Industry, (online)*, 2 octobre 2013, p. 1.

(103) Louis-Marie Clouet, « Rosoboronexport, fer de lance de l'industrie russe d'armement », *Russie NEI Visions*, n° 22, septembre 2007, p. 8.

(104) Clouet, *op. cit.*, p. 8. ; « S-300P », *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 26 février 2013, p. 15.

pressions israéliennes et américaines⁽¹⁰⁵⁾. Un contrat est finalement signé le 25 décembre 2007 qui engageait la Russie à fournir à l'Iran cinq batteries de S-300PMU1 pour un montant de 800 millions de dollars⁽¹⁰⁶⁾. Les pressions internationales ont cependant retardé la livraison des systèmes jusqu'au vote de la résolution 1929 du Conseil de sécurité des Nations unies en juin 2010, interdisant désormais la vente d'armes conventionnelles offensives à l'Iran. En septembre 2010 le Président russe Dmitri Medvedev utilisait ce prétexte et signait ainsi un décret interdisant à ROE d'honorer le contrat avec Téhéran – suscitant ainsi une action en justice de la part des Iraniens qui réclament désormais plusieurs milliards de dollars en dommages et intérêts. Cet exemple iranien démontre bien l'attention internationale – et notamment américaine – accordée à la diffusion de systèmes stratégiques performants.

Depuis le début de la guerre civile, c'est la Syrie de Bachar al-Assad qui est désormais au cœur des efforts internationaux pour éviter la diffusion de ce système. Négocié en 2010, l'accord signé entre Damas et Moscou prévoyait la livraison de quatre batteries de S-300 PMU2, ainsi que 144 missiles d'une portée de 200 km, pour un montant de 900 millions de dollars⁽¹⁰⁷⁾. Le déploiement d'un tel dispositif pèserait naturellement sur toute intervention occidentale, même limitée, et constituerait un enjeu de taille pour Israël compte tenu de la portée du système – qui pourrait ainsi interdire jusqu'à la moitié de l'espace aérien de l'État hébreu⁽¹⁰⁸⁾.

Les zones de crises aiguës ne sont pourtant pas les seules à être concernées par la diffusion de ce type de défense et l'absence de couverture médiatique ne doit pas cacher la lente mais réelle prolifération du S-300. Le système est aujourd'hui présent dans quinze pays, parmi lesquels l'Algérie, Chypre, l'Azerbaïdjan ou le Vietnam. Il faudra peut-être y adjoindre bientôt le Venezuela, alors que, selon certaines sources, le système équivalent chinois HQ-9 équiperait d'ores et déjà la Corée du Nord et le Pakistan et pourrait à moyen terme équiper la Turquie.

Bien que l'attention se focalise souvent sur les systèmes modernes à longue portée, de nombreux experts n'hésitent pas à considérer que la plus grande menace à moyen terme est la diffusion de systèmes SAM de courte et moyenne portées⁽¹⁰⁹⁾. En dépit de leur profil plus discret, ces derniers ont connu des progrès tout aussi spectaculaires que les SAM stratégiques (radars à balayage élec-

(105) Bruno Gruselle et Guillaume Payre, « Iran. La défense aérienne face à une attaque préventive contre ses sites nucléaires », *Note de la FRS*, 30 janvier 2006.

(106) « S-300 pour l'Iran : la Russie a perdu des centaines de millions de dollars », *RIA Novosti*, 1^{er} mars 2013.

(107) « Syrie : la Russie déterminée à livrer des missiles anti-aériens au régime », *Le Monde*, 28 mai 2013 (actualisé).

(108) Yiftah S. Shapir, « Syria, Russia, and the S-300 : Military and Technical Background », *INSS Insight* n° 426, 20 mai 2013. Selon cette note de l'Institute for National Security Studies (INSS) de Tel Aviv, l'armée syrienne ne serait cependant pas aujourd'hui en état de mettre en œuvre un tel système sans l'aide directe de conseillers militaires étrangers.

(109) Entretiens avec des experts civils et militaires.

tronique, CCME, portée et mobilité accrues, connectivité informatique, etc.). Les systèmes à courte et moyenne portées ont également des avantages sur les SAM stratégiques : une signature multispectrale plus réduite et une mobilité plus grande grâce à leur taille.

Les systèmes *Pantsyr-S1* (SA-22) dits « courte portée » et récemment livrés à la Syrie, l'Irak, l'Iran ou encore l'Algérie, peuvent tout de même engager des cibles jusqu'à 20 km de distance et une altitude de 50 000 pieds (soit à peine moins que le plafond du *Rafale* ou du F-16). Ce dernier possède également un radar à balayage électronique actif, ainsi que des CCME de dernière génération et peut traquer plus de quarante cibles simultanément⁽¹¹⁰⁾. Le SA-22 est aujourd'hui considéré par certains experts comme la principale menace en Syrie, comme le démontre le RF-4 turc abattu à 24 km des côtes syriennes en juin 2012⁽¹¹¹⁾. – les États-Unis auraient même fourni aux rebelles des éléments pour leur permettre l'identification et la neutralisation de ces matériels⁽¹¹²⁾.

La Russie aurait également aidé la Syrie, en pleine crise de régime, à compléter son SDAI en livrant à l'été 2012 des systèmes de moyenne portée 9K40 *Buk-M2* (SA-17) via l'organisme russe ROE⁽¹¹³⁾. Avec une portée d'une cinquantaine de kilomètres et un plafond de 80 000 pieds, de tels systèmes représentent une réelle montée en gamme, même pour un État déjà bien doté tel que la Syrie. Ce geste a été clairement perçu sur le plan politique comme une mise en garde face au risque d'intervention occidentale dans le pays.

Le cas des 9K40 *Buk-M2* (SA-17) syriens démontre aussi le manque de contrôle de tels matériels extrêmement performants une fois disséminés : le 30 janvier 2013, l'aviation israélienne affirmait ainsi avoir neutralisé un convoi de SA-17 destinés au Hezbollah libanais – en échange de son soutien au régime d'Assad⁽¹¹⁴⁾.

MODERNISATION ET HYBRIDATION

Si'il reste encore aujourd'hui préférable pour un État acquéreur de se doter d'un système neuf « clé en main »⁽¹¹⁵⁾, les contraintes politiques et financières ne permettent pas toujours ce type de montée en gamme. C'est pourquoi les pays exportateurs – Chine, Russie mais également anciennes républiques soviétiques – misent également sur des programmes de « mise à niveau » encore mal connus, mais qui pourraient bien se révéler le principal vecteur de diffusion de capacités sol-air de premier ordre. Cette « hybridation » prend notamment la forme de l'intégration de composants modernes dans une structure qui reste

(110) « 96K6 Pantsyr-S1 », *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 7 février 2013, p. 9-11.

(111) Jonathan Marcus, « Syria - Turkey tension : Conflicting arguments on Phantom », *BBC*, 3 juillet 2012, accessible à l'adresse : <http://www.bbc.co.uk/news/world-middle-east-18669037/>

(112) Entretien avec des experts militaires.

(113) Andrew E. Kramer, « Russia Sending Missile Systems to Shield Syria », *The New York Times*, 15 juin 2012.

(114) Isabel Kershner, Michael R. Gordon, « Israeli Airstrike in Syria Targets Arms Convoy, US Says », 30 janvier 2013.

(115) Entretien avec des experts civils.

inchangée. Le châssis, le lanceur, le missile, même l'antenne radar peuvent rester les mêmes, faisant croire que le système est de 1^{re} ou de 2^e génération, mais l'électronique embarquée y est rénovée (résistance au brouillage, profil de vol optimisé, traitement plus rapide des données, etc.), rendant ainsi les capacités de guerre électronique de l'adversaire largement inopérantes.⁽¹¹⁶⁾ C'est ainsi que s'expliquerait, durant la guerre d'août 2008, la perte d'un bombardier russe Tu-22M3 dont les contre-mesures électroniques se seraient révélées insuffisantes face à une batterie sol-air géorgienne secrètement modernisée grâce à l'aide de l'Ukraine⁽¹¹⁷⁾.

Il existe de nombreux exemples de ces programmes de modernisation : ainsi la société russo-biélorusse *Oboronitelniye Sistemy* a-t-elle vendu en avril 2006 un programme de modernisation des SA-3 à l'Égypte. Cette mise à jour intègre à ces anciens systèmes des composants électroniques à l'état solide augmentant ainsi la vitesse de calcul. Elle intègre aussi des éléments du sous-système du S-300, un nouveau radar capable de traquer jusqu'à seize cibles simultanément (contre deux pour le précédent) ainsi qu'un système IFF, améliore la portée des missiles, et introduit un *package* de guerre électronique de lutte contre les munitions antiradar⁽¹¹⁸⁾. Les systèmes de courte et moyenne portées sont, là encore, des vecteurs adaptés à la diffusion en toute discrétion de capacités sol-air modernes. L'organisme russe ROE a ainsi vendu à l'Iran en 2008 un programme de modernisation des 2K12 *Kub* (SA-6) en y intégrant les principales spécifications du système 9K37 *Buk-M1* (SA-11).

Les systèmes d'intégration sont également sujets à ce type d'hybridation et certains pays issus de l'ancien Pacte de Varsovie s'en sont fait une spécialité. Ainsi le Belarus, qui avait traditionnellement une forte expertise en matière de C2, offre-t-il aujourd'hui ses services à qui est prêt à les payer pour moderniser en toute discrétion des capacités SAM (et à moindre frais qu'en rachetant un système entier). L'ancienne république soviétique propose un système de commandement et de contrôle pour les missiles courte portée, notamment les SATCP (*cf.* « Contestation asymétrique en mode défensif » *infra*), baptisé ShLEM et capable de coordonner jusqu'à neuf batteries différentes, avec un centre de direction de tir géolocalisé en mesure de recevoir des données d'un radar ou d'un poste de commandement.

L'hybridation est donc aujourd'hui une tendance lourde de la diffusion des capacités sol-air et peut être considérée comme une menace potentiellement grave contre la supériorité aérienne occidentale. Elle devrait permettre, à terme, la modernisation du gigantesque parc de SAM de première et deuxième génération et contribuer à la généralisation de technologies de pointe, telles que les radars à balayage électronique. Difficile à détecter *a priori*, l'hybridation d'un SDAI, si elle n'est pas contrôlée, pourrait se révéler une surprise tactique

(116) Entretien avec des experts civils et militaires.

(117) Kopp, « Evolving technological strategy », *op. cit.*, p. 90.

(118) « S-125 Pechora-2 Upgrade Package », *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 12 décembre 2012, p. 1-2.

de taille au cours des prochaines interventions, elle aurait surtout pour effet de faire peser une inconnue sur les capacités sol-air d'un adversaire, quel qu'il soit, accroissant ainsi les exigences des missions SEAD.

PAR-DELÀ LES SYSTÈMES D'ARMES : LA DIFFUSION DES SAVOIRS

Acheter des systèmes est une chose, les faire fonctionner en un tout cohérent en est une autre. Même s'il est clair que la manipulation de systèmes SAM ne demande pas une formation et un entraînement aussi intensifs que pour des plateformes volantes, il ne faut pas sous-estimer l'importance que peuvent recéler les savoir-faire techniques et tactiques dans la mise en œuvre d'une capacité SAM. Dans le SDAI, comme dans tout système d'arme, l'intégration est l'étape la plus difficile à franchir : celle-ci n'est pas un savoir-faire acquis de manière théorique, mais passe par un apprentissage au cours duquel un élève observe un maître et est formé par lui. Le savoir-faire en matière d'intégration repose sur des connaissances tacites, un capital institutionnel. Ce savoir-faire est difficile à transférer, même dans le cadre de ventes d'armements et d'accords de coopération bilatéraux⁽¹¹⁹⁾.

La formation et la bonne maîtrise des systèmes contribuent massivement à accroître la survivabilité d'un SDAI. Ainsi, durant l'opération *Force Alliée* au-dessus de la Serbie et du Kosovo, certains opérateurs SAM serbes possédaient une capacité d'analyse si fine qu'ils parvenaient à détecter le tir d'un missile HARM sur leur écran radar, et ce, malgré le brouillage offensif de l'EA-6 *Prowler*. « L'écho de peau » d'un appareil peut être identifié par des opérateurs bien formés ayant déjà affronté du brouillage, d'où l'importance de l'entraînement et de la diffusion des retours d'expérience – potentiellement entre les théâtres comme ce fut le cas entre l'Irak et la Serbie au début des années 1990⁽¹²⁰⁾. À l'inverse, en 2011, le SDAI libyen était largement inopérant : faiblement entraînés, peu résilients dans leur intégration, les opérateurs de l'armée de Kadhafi ont été loin de représenter le même défi que les Serbes en 1999⁽¹²¹⁾.

Sur un plan logistique également, les systèmes SAM et leur intégration continuent d'avoir besoin d'une aide extérieure – qu'elle vienne du constructeur ou d'un sous-traitant. Le monitoring des équipes d'ingénieurs issues du pays d'origine est donc un facteur crucial dans la diffusion des capacités SAM, car sans elles, il serait vain d'essayer de faire fonctionner un système. Les flux humains associés à l'entretien et la maintenance sont donc aussi importants que les flux de matériels dans l'évaluation d'une capacité adverse. La problématique de la « fuite des cerveaux » doit également être suivie de près, dès lors qu'elle peut signifier un transfert définitif de savoirs et de compétences. La dissémination d'une ou plusieurs équipes déjà formées de concepteurs ou

(119) Entretien avec des experts civils.

(120) Entretien avec des experts militaires.

(121) Entretien avec des experts civils.

d'intégrateurs systèmes doit donc être considérée comme une menace aussi grande que la disparition d'un système.

Ceci étant, certains experts soulignent que la dépendance à l'égard des compétences et du savoir-faire extérieur va en s'amenuisant : là où il fallait plusieurs dizaines voire des centaines d'ingénieurs dans les années 1970, seuls quelques conseillers techniques suffisent désormais grâce, notamment, à la démocratisation des savoirs techniques et au développement des communications longue portée qui permettent de résoudre à distance ou en interne une bonne partie des problèmes⁽¹²²⁾.

Plus de vingt ans après la fin de la guerre froide et le triomphe de la puissance aérienne occidentale au-dessus du Golfe persique, il apparaît clairement que le retard pris par les technologies sol-air, principalement du fait de l'effondrement de l'Union soviétique, a désormais été comblé. La révolution numérique et électronique qui avait permis la transformation militaire prônée par les États-Unis se retourne aujourd'hui contre l'arme aérienne au profit d'une technologie défensive relativement moins coûteuse mais potentiellement plus accessible, performante et résiliente. Cet effet de rattrapage participe d'un processus habituel de rééquilibrage entre l'attaque et la défense et ne devrait pas être une surprise au regard des tendances de la guerre aérienne dans le temps long. Pour autant, cette nouvelle donne opérationnelle doit encore être prise en compte par des appareils militaires occidentaux habitués depuis deux décennies à opérer dans un ciel incontesté.

TABLEAU 3 : TABLEAU DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE MISSILES SOL-AIR⁽¹²³⁾
SYSTÈMES SOL-AIR À TRÈS COURTE PORTÉE (SATCP)

Nom original	Code OTAN	Année d'introduction	Portée(*) (en km)	Altitude maximale (en km)
9K32 Strela-2	SA-7 Grail	1968	3,7 - 4,2	1,5 - 2,3
9K31 Strela-1	SA-9 Gaskin	1968	4,2 - 8	3,5 - 6
9K34 Strela-3	SA-14 Gremlin	1974	4,1	2,3
Blowpipe	–	1975	3,5	1
9K310 Igla-1	SA-16 Gimlet	1981	5	3,5
9K38 Igla	SA-18 Grouse	1983	5,2	3,5
FIM-92 Stinger	–	1987	4,8 - 8	3
Mistral	–	1988	5	3
9K338 Igla-S	SA-24 Grinch	2004	6	3,5

* Valeur approximative donnée ici à titre indicatif : la portée effective varie selon les missiles, les différents radars, la nature de la cible, les conditions de température et de pression, etc.

(122) Entretien avec des experts civils et militaires.

(123) Sources utilisées : *Jane's Information Group*; *Australian Air Power*.

SYSTÈMES SOL-AIR À COURTE OU MOYENNE PORTÉE

Nom original	Code OTAN	Mobilité (*)	Année d'introduction	Portée (en km)	Altitude maximale (en km)
MIM-23 Hawk	–	F/AT/T	1960	45 - 50	14
S-125 Neva/Pechora	SA-3 Goa	F/AT	1961	28 - 32	18 - 20
2K11 Krug	SA-4 Ganef	AT	1964	50 - 55	27
MIM-72 Chaparral	–	AT	1969	9	4
2K12 Kub	SA-6 Gainful	AT	1970	24 - 28	14 - 15
9K33 Osa	SA-8 Gecko	AT	1971	10 - 12	5 - 8
Roland	–	AT/T	1977	8	5,5
Crotale	–	AT	1978	11	6
9K37 Buk-M1	SA-11 Gadfly	AT	1979	32 - 42	22 - 25
9K35 Strela-10	SA-13 Gopher	AT	1979	5 - 10	3,5-5
9K331 Tor M/M1/M2	SA-15 Gauntlet	AT	1986	12 - 15	6
9K40 Buk-M2	SA-17 Grizzly	AT	1998	32 - 42	22 - 25
2K22 Treugolnik/Tunguska	SA-19 Grison	AT	1982	8 - 10	3,5 - 6
Pantsir S1	SA-22 Greyhound	AT	2003	12 - 20	8 - 15

* Il existe différents degrés dans la mobilité du lanceur qui peut être fixe (F), tracté (T) ou autotracté (AT).

SYSTÈMES SOL-AIR À LONGUE PORTÉE

Nom original	Code OTAN	Mobilité	Année d'introduction	Portée (en km)	Altitude maximale (en km)
S-25 Berkut	SA-1 Guild	F	1955	30 - 45	18 - 24
S-75 Dvina	SA-2 Guideline	F/T	1957	50 - 55	30
S-200 Angara/Vega/Duba	SA-5 Gammon	F/T	1967	150 - 250	20 - 40
S-300P/PT/PS/PM	SA-10 A/B/C/D/E Grumble	AT	1978	75 - 90	25 - 30
S-300V Antey	SA-12 A/B Gladiator/Giant	AT	1978	40 - 100	25 - 30
MIM-104 Patriot PAC-2	–	AT/T	1990	160	24
S-300PMU-1/2 Favorit	SA-20 Gargoyle	AT	1992	150 - 195	27 - 30
HQ-9/FT-2000	–	AT	1997	200	30
Aster-30/SAMP/T	–	AT	2001	120	20
S-400 Triumf	SA-21 Growler	AT	2007	60 - 250	20 - 30
S-300VM Antey-2500	SA-23 Gladiator/Giant	AT	2011	100 - 200	25 - 30

DES INFRASTRUCTURES VULNÉRABLES ?

Saper la supériorité aérienne d'un ennemi en menaçant ou en attaquant ses bases relève à bien des égards de l'évidence. Les cibles fixes sont d'abord plus faciles à localiser et à toucher que des cibles mobiles, et c'est encore plus vrai des avions, étant donné leur vitesse et leur armement, alors qu'ils sont pratiquement sans défense au sol. En outre, une base aérienne représente un objectif d'autant plus tentant qu'elle rassemble des capacités à haute valeur ajoutée comme des aéronefs et toute leur infrastructure technique et humaine. Étant donné la diffusion des technologies et l'accroissement concomitant de la portée et de la précision, y compris pour des armements assez simples, les attaques contre les bases pourraient bien constituer dans les années qui viennent une menace de premier ordre à la supériorité aérienne occidentale – menace d'autant plus importante qu'elle a été jusqu'ici systématiquement sous-estimée⁽¹²⁴⁾.

L'importance relative de l'attaque des bases a varié au cours de l'histoire, en fonction du niveau de sophistication relative des deux adversaires, mais aussi de la distance les séparant. Cette problématique a semblé s'éloigner partiellement de nous avec la fin de la guerre froide : durant les deux dernières décennies, le caractère souvent expéditionnaire et toujours déséquilibré des conflits a relégué au second plan cette menace, nos adversaires étaient rarement en mesure d'attaquer avec précision les bases aériennes, et moins encore les porte-avions en mer. L'attention s'est ainsi focalisée sur la vulnérabilité de la phase de déploiement des forces occidentales (délais de projection, goulets d'étranglement logistiques que représentent en particulier les ports) lors d'opérations majeures, sur le modèle de *Desert Shield*, et face à des attentats terroristes ou des attaques de saturation reposant sur des ADM ou des missiles balistiques à charge conventionnelle. Cette situation est appelée à évoluer dans l'avenir sous l'effet de plusieurs facteurs. La réduction du nombre de bases et d'avions, le coût élevé de ceux-ci, enfin le rôle souvent déterminant joué par la troisième dimension et l'obtention de la supériorité aérienne accroissent mécaniquement l'attractivité pour l'adversaire d'une action contre les bases aériennes occidentales. L'évolution, la diffusion et même la démocratisation des technologies jouent également en ce sens, mettant divers modes offensifs contre les bases aériennes à la portée d'États de second rang et même dans certains cas d'acteurs infra-étatiques. Ce qui est vrai d'un théâtre à l'autre et peut-être pour le territoire national l'est naturellement plus encore à l'intérieur d'un même théâtre.

D'un point de vue opérationnel, on peut répartir les menaces pesant sur les bases aériennes selon trois niveaux : élevé, moyen et faible. Cette présentation schématique repose pour partie sur la sophistication technologique des menaces considérées, mais pour partie seulement. D'autres critères rentrent en effet en ligne de compte, et en particulier la proximité géographique entre les bases et le camp adverse – la distance d'avec l'ennemi est en effet gage de sûreté et induit en retour de la part de l'adversaire un effort de sophistication technologique et opérationnel afin de surmonter ce handicap initial. Plus

(124) Entretien avec des experts civils et militaires.

fondamentalement, ces trois degrés d'intensité correspondent à des objectifs, à des postures et à des niveaux d'ambition différents. Une *menace élevée* dénote la possibilité avérée pour l'ennemi de neutraliser, durablement si ce n'est définitivement, une large part du réseau de bases aériennes amies et donc d'obtenir par ce biais la suprématie aérienne. Quelle que soit l'époque considérée, ce niveau d'ambition proprement stratégique suppose toujours une réelle maîtrise technologique et des capacités ennemies symétriques et au moins égales. En sens inverse, une *menace moyenne* à l'encontre des bases ne peut pas en elle-même déboucher sur la conquête de la supériorité aérienne ; il s'agit plutôt de susciter un effet opératif, typiquement en faisant subir à la puissance aérienne ennemie une attrition constante de ses moyens matériels et humains, avec parfois une concentration des efforts sur une phase de la campagne en cours ou un secteur du théâtre. Enfin, et contrairement aux deux niveaux précédents, la *menace faible* ne vise pas à produire des effets véritablement militaires, qu'ils soient stratégiques ou opératifs, puisque le gain attendu est essentiellement d'ordre psychologique et politique. Ces trois niveaux de menace peuvent s'additionner les uns aux autres dans des combinaisons plus ou moins originales : ainsi, un attentat terroriste réussi contre une base française en Afrique peut relever à la fois du « coup » politique et psychologique et de l'affaiblissement temporaire du dispositif militaire français sur le théâtre. Quels que soient les effets réels et potentiellement combinés d'une attaque contre une base aérienne, il est essentiel de comprendre ce que l'adversaire a cherché à atteindre⁽¹²⁵⁾.

MENACE HAUTE : L'ATTAQUE DES BASES COMME « K.O. » PRÉEMPTIF

Comme de nombreux exemples l'attestent, l'attaque contre les bases aériennes, déjà théorisée par Douhet, remonte aux premiers temps de l'aviation et a joué un rôle central dans certaines des campagnes de la seconde guerre mondiale, à commencer par la bataille d'Angleterre. De fait, la destruction des appareils au sol et la neutralisation, même temporaire, des bases et des aéroports ennemis peut s'avérer décisive dans l'obtention de la supériorité aérienne, qu'il s'agisse de l'ensemble d'un théâtre (guerre des Six Jours), d'un simple secteur de front (offensive allemande de mai 1940) ou même d'un point avancé (flotte et surtout porte-avions américains censément ancrés à Pearl Harbour). Sous forme préemptive ou préventive, l'attaque-surprise contre les bases pourrait également constituer à l'avenir l'étape essentielle d'une forme de préemption stratégique visant à empêcher ou à contrarier une projection occidentale. Reposant sans doute davantage sur les missiles que sur les aéronefs, cette stratégie s'appuierait plus généralement sur la « diffusion de la précision », autrement dit la dissémination des technologies et des équipements permettant les frappes de précision.⁽¹²⁶⁾ Elle suppose toutefois, pour sa mise en œuvre, une grande puissance dotée de moyens sophistiqués de frappe à longue portée et animée par

(125) Entretien avec des experts civils.

(126) Randy Huiss, *Proliferation of Precision Strike : Issues for Congress*, Congressional Research Service, 2012.

des intérêts stratégiques majeurs ; à l'heure actuelle et à l'horizon considéré, seules la Russie, la Chine et peut-être l'Inde détiennent les ressources requises.

Une attaque contre les bases, massive et de nature strictement symétrique, c'est-à-dire en priorité par des avions pilotés, semble peu probable. La constitution d'une flotte aérienne de premier rang est en effet un processus long, difficile, très cher et impossible à dissimuler ; en outre, et sauf à disposer d'un grand nombre de bombardiers stratégiques et de ravitailleurs, la plupart des avions ont une autonomie limitée qui leur interdit en pratique de cibler l'ensemble des bases ennemies. À en juger par les arsenaux actuellement développés par la Chine comme à un autre niveau par l'Iran, il semble que le choix au moins partiel de la dissymétrie ait été fait – là encore, de nombreux exemples d'adaptation dissymétrique existent, historiques et contemporains : *U-boots* contre *Dreadnoughts*, roquettes du Hezbollah face à la supériorité aérienne israélienne. Missiles balistiques et missiles de croisière semblent particulièrement se prêter à l'attaque des bases aériennes.

Aujourd'hui, trente-cinq États possèdent des missiles balistiques, mais il s'agit dans la grande majorité des cas de missiles SCUD et de leurs dérivés, que leur manque de précision et de portée rend inaptes à des attaques significatives contre des objectifs militaires⁽¹²⁷⁾. Les SCUD et autres Nodong ont en effet un Écart Circulaire Probable (ECP)⁽¹²⁸⁾ de l'ordre de 10 km. S'il est vrai que l'imagerie satellite de qualité, et à terme la vidéo en temps réel, vont être de plus en plus accessibles commercialement, et pas uniquement auprès de firmes américaines, les missiles balistiques vont demeurer très onéreux, et plus encore s'ils doivent être précis. La « solution du pauvre » consiste alors à employer des missiles balistiques de courte portée en masse ou avec des ogives dotées d'ADM, afin de provoquer un effet de saturation – la nature des moyens utilisés impliquant toutefois des effets plus politiques que militaires. À cet égard, seules la Russie, en raison de l'héritage soviétique, et surtout la Chine, qui développe des programmes balistiques variés, en particulier avec système de guidage terminal et sous-munitions, paraissent en mesure d'attaquer des bases occidentales, de façon à la fois massive et sur des distances régionales et mêmes intercontinentales. La Chine s'est ainsi dotée d'un arsenal de missiles balistiques de portées moyenne et intermédiaire (MRBM et IRBM), initialement afin de faire pression sur Taïwan, mais désormais en mesure de menacer une bonne part des points d'appui américains dans la région, en Corée, au Japon et même à Guam. Avec le DF-21D, la Chine s'est même dotée d'un missile balistique antinavire (ASBM), apparemment susceptible d'attaquer les porte-avions américains. D'une portée maximale de 1 550 km, le DF-21D comporte une tête manœuvrable susceptible de suivre une trajectoire non-balistique à basse altitude, ce qui rend son interception problématique. Une fois la

(127) Joel Wuthnow, *The Impact of Missile Threats on the Reliability of US Overseas Bases : A Framework for Analysis*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2005, p. 9.

(128) L'ECP est le rayon du cercle, centré sur la cible, dans lequel tombent 50 % des projectiles. Un ECP de quelques mètres est maintenant envisageable pour les dernières générations d'armes à guidage terminal.

localisation générale de la cible assurée, que ce soit par des sous-marins, des drones ou des bateaux de pêche, le système de guidage terminal et la manoeuvrabilité de la tête permettraient d'atteindre un ECP inférieur à 20 mètres⁽¹²⁹⁾. En conséquence, un débat a émergé aux États-Unis concernant l'impact du DF-21D et des ASBM en général, certains y voyant la fin des porte-avions et de la projection de puissance navale, d'autres soulignant à l'inverse les difficultés du ciblage (acquisition et suivi) en temps réel appliqué à des cibles lointaines.

Toutefois, et par-delà le seul cas chinois, il semble que le missile de croisière terrestre (*Land Attack Cruise Missile* ou LACM), moins cher à l'acquisition et à l'emploi, représente à l'avenir la menace la plus probable pour les bases occidentales. Des pays toujours plus nombreux développent des programmes de LACM ou en acquièrent sur le marché, sachant qu'il serait possible d'en acheter une centaine pour 50 millions de dollars, et qu'il devrait être relativement simple de coupler la centrale inertielle à du guidage GPS⁽¹³⁰⁾. Les LACM pourraient être d'autant plus efficaces qu'ils devraient s'insérer dans une stratégie combinée associant également des drones potentiellement difficiles à détecter, des missiles balistiques et des plateformes habitées mais indétectables, de type sous-marins nucléaires d'attaque ou avions furtifs de type *Sukhoi T-50*. C'est bien en effet la combinaison de capacités comme le missile DF-21D, l'avion de 5^e génération J-20, les missiles de croisière et les satellites d'imagerie radar qui devrait conférer à la Chine la possibilité de conduire des frappes à longue portée dans des environnements complexes et défendus, jusqu'à menacer les bases américaines dans la région. Couplés à des munitions de précision, bombes guidées par laser ou par Beidou (l'équivalent chinois du GPS), missiles air-sol et missiles antinavires, ces moyens pourraient permettre aux forces chinoises de frapper la « seconde chaîne d'îles » (bases américaines de Kadena et Yokota au Japon, Philippines) et au-delà jusqu'à Guam⁽¹³¹⁾. Or, le nombre de hangars durcis sur ces bases est notoirement insuffisant pour accueillir les chasseurs qui s'y trouvent ; de plus, les appareils de grande taille, peu nombreux mais à l'importance critique (*Rivet Joint*, AWACS et autres HVAA), n'ont aucun hangar à leur taille et sont donc totalement vulnérables⁽¹³²⁾.

Étant donné les faibles effectifs et la capacité de remontée en puissance plus faible encore des forces occidentales, le but pourrait être alors, soit d'asseoir une attaque-surprise dévastatrice et désarmante sur les appareils et les infrastructures, plaçant les Occidentaux devant un dilemme difficile : escalader, potentiellement jusqu'au seuil nucléaire, ou concéder la défaite ; soit d'imposer un niveau d'attrition rapidement insupportable ; soit et plus probablement de s'appuyer sur cet arsenal, ainsi que sur des mesures diplomatiques appropriées, pour interdire progressivement la région à des Occidentaux repoussés toujours plus loin géographiquement. Dans cette dernière hypothèse, les

(129) Huiss, *Proliferation of Precision Strike*, op. cit., p. 17-18.

(130) Wuthnow, *The Impact of Missile Threats on the Reliability of US Overseas Bases*, op. cit., p. 8-15.

(131) Huiss, *Proliferation of Precision Strike*, op. cit., p. 21-22.

(132) Entretien avec des experts civils.

moyens d'attaque à longue portée ne visent pas seulement les bases, mais participent d'une stratégie plus générale de déni d'accès, effective dès le temps de paix et susceptible de dissuader les puissances occidentales d'intervenir en cas de crise régionale⁽¹³³⁾. Cependant, et compte tenu de l'accroissement prévisible de la portée des complexes de reconnaissance-frappe (CRF) occidentaux, américain au premier chef, l'attaque-surprise paralysante contre les bases risque de plus en plus de requérir la prise à partie du territoire national (par exemple Whiteman, base des bombardiers B-2, dans le cas américain), auquel cas on entre dans une autre logique se fait jour, celle de l'escalade comportant une dimension nucléaire.

MENACE MOYENNE : ENTRE ATTRITION ET HARCÈLEMENT

En forçant le trait, on pourrait croire que les bases n'ont été réellement menacées que dans le cadre de conflits symétriques, le plus souvent entre adversaires géographiquement voisins, sauf quelques exceptions comme le raid japonais à grande distance contre la base de Pearl Harbour. Or, ce serait oublier les guerres asymétriques comme l'Indochine ou le Vietnam, dans lesquelles l'imbrication des forces sur le théâtre, l'ubiquité et la dispersion des forces irrégulières adverses se sont traduites par des attaques répétées contre les infrastructures aériennes françaises ou américaines. Dien Bien Phu constitue en un certain sens un cas d'école, puisque l'investissement et la destruction de cette base aéroterrestre isolée par le Vietminh commence justement par la neutralisation progressive de la piste aérienne, coupant ainsi les forces françaises sur place de toute aide significative.

Hors le cas particulier des campagnes de contre-insurrection, le sérieux de ces menaces et l'existence même d'une catégorie intermédiaire tiennent aujourd'hui à la « démocratisation » de la précision et à sa conséquence, l'amélioration nette des performances de certains systèmes d'armes traditionnels comme l'artillerie. Cette diffusion de la technologie se décline à plusieurs niveaux, drones et missiles de croisière d'un côté, munitions sol-sol de précision (G-RAMM) de l'autre, permettant à des États comme à des adversaires « hybrides » ou irréguliers d'infliger une gêne ou un taux d'attrition significatifs affectant le rythme comme le bon déroulement des opérations. Ces menaces plus ou moins classiques s'appuieraient ainsi sur une combinaison de systèmes terrestres et aériens, de longue mais surtout de courte portée, innovants ou simplement modernisés par l'adjonction de systèmes d'acquisition de cibles et de guidage. On pourrait penser par exemple à des flottes de petits drones armés, sachant que de tels engins peuvent dès aujourd'hui voler 14 heures et porter jusqu'à 25 kg, soit le poids d'une charge explosive significative. Combinant faible vitesse, petite taille et basse altitude, ils poseraient de réels problèmes d'identification radar et pourraient menacer des bases alliées situées à distance du théâtre⁽¹³⁴⁾.

(133) Cf. « Stratégie et déni d'accès » *infra*.

(134) Entretien avec des experts civils et militaires : nos interlocuteurs ont même évoqué la possibilité d'une attaque provenant de l'autre côté de la Méditerranée et ciblant une infrastructure critique du système français de défense aérienne (radars de la base aérienne de Mont-Verdun par exemple).

En ce sens, ces menaces intermédiaires reposeraient sur un CRF rustique et incomplet, voire rudimentaire (très courte portée ou *Line of sight*), pour produire des effets d'attrition ou d'engluement de niveau opératif – si cette possibilité paraît moins inquiétante que l'émergence d'un CRF ennemi à longue portée, elle est également beaucoup plus probable⁽¹³⁵⁾.

Un adversaire de second rang pourrait s'appuyer sur une combinaison de moyens à courte portée très performants et de quelques moyens à longue portée, depuis l'artillerie moderne (40-70 km) jusqu'aux drones et missiles de croisière. La zone de menace proche permettrait de restreindre le champ d'action et la pleine efficacité des moyens occidentaux, les moyens à longue portée de viser des bases alliées et parfois même nationales, suscitant de la sorte des coûts à la fois politiques et militaires substantiels. Le but serait alors de dégrader le potentiel de la puissance aérienne occidentale en interdisant les basages proches et en dissuadant les alliés régionaux de participer et même de prêter leurs bases plus lointaines, de façon à maximiser les temps de transit comme les périodes d'exposition de l'aviation occidentale. En cas de très grande proximité géographique avec les bases alliées ou nationales, même un adversaire de troisième rang ou hybride pourrait utiliser en masse des roquettes et de l'artillerie à guidage terminal (ou couplées à un système d'ISR, même rudimentaire). Une telle combinaison de la masse et d'un certain degré de précision pourrait s'avérer extrêmement difficile à contrer, militairement comme politiquement, lors d'opérations extérieures s'appuyant sur des bases alliées non durcies.

Se reposant traditionnellement davantage sur leur imbrication avec les forces occidentales et sur la présence d'une population civile ralliée à la cause ou intimidée, les adversaires irréguliers n'en vont pas moins bénéficier eux aussi de ces innovations, en particulier lorsqu'elles concernent les systèmes d'armes individuels. À l'avenir, une insurrection organisée devrait ainsi être en mesure de représenter une menace très significative pour les bases aériennes et les forces occidentales déployées.

Comme il a été vu plus haut, les campagnes de contre-insurrection se sont largement appuyées sur l'avantage comparatif occidental en matière aérienne. En retour, les bases aériennes ont presque toujours représenté un objectif tactique majeur pour les insurgés, hier comme aujourd'hui⁽¹³⁶⁾. Au Vietnam, ce sont ainsi pas moins de 1 269 appareils américains et sud-vietnamiens qui ont été détruits au sol, soit nettement plus qu'en combat aérien⁽¹³⁷⁾. Si les insurgés ont eu beaucoup moins de succès lors d'attaques similaires en Irak et en Afghanistan, les tentatives n'en ont pas moins été fort nombreuses, avec par exemple 1 500 attaques (au mortier ou à la roquette pour la plupart) en Irak lors de deux premières années du conflit⁽¹³⁸⁾. La nouveauté tient à la diffusion

(135) Entretien avec des experts civils.

(136) Cf. « L'attaque des bases aériennes et l'engrenage au sol » *supra*.

(137) Jeffery T. Ditlevson, *Air Base Defense : Different Times Call for Different Methods*, Monterey, Naval Post Graduate School, décembre 2006, p. 65.

(138) *Idem*, p. 99.

de technologies avancées, simples d'emploi et relativement efficaces comme les MANPADS, les ATGM (*Anti Tank Guided Missile*) et autres G-RAMM, qui permettent d'attaquer à distance et contraignent à défendre en profondeur, c'est-à-dire à sécuriser autour des bases un périmètre beaucoup plus important – au Vietnam déjà, 96% des attaques contre les bases étaient effectuées à distance⁽¹³⁹⁾. En particulier, des adversaires irréguliers mais en partie sophistiqués (hybrides) pourraient essayer d'attaquer les avions sur le tarmac ou à l'envol, jusqu'à contraindre leur mode de stockage et leur rythme de décollage, un peu à la manière des IEDs en Afghanistan qui à la fois ont représenté une menace et une attrition constantes, mais ont également contribué à rigidifier les modes d'action des forces de l'ISAF⁽¹⁴⁰⁾. Dans le pire des cas, non seulement les forces aériennes occidentales perdraient régulièrement des appareils au sol ou à l'envol, mais encore leur faudrait-il surveiller en permanence les abords, tirer systématiquement des leurres, se doter de moyens d'acquisition de contre-batterie très performants, ainsi que d'une défense active...

Il s'agirait par là, soit d'infliger aux avions occidentaux un taux de perte régulier, soit de faire des bases des points de fixation, consommant toujours plus de ressources pour leur propre défense, et donc toujours moins pour l'action «extérieure», un peu à la manière des groupes aéronavals aujourd'hui.

MENACE BASSE : LA QUÊTE DU CHOC PSYCHOLOGIQUE

Comme le relèvent David Schlapak et Alan Vick, une infanterie légère bien entraînée et équipée permet toujours d'attaquer les bases aériennes, mais ces attaques peuvent obéir à trois finalités tout à fait différentes : «(1) détruire des appareils ou infrastructures jouant un rôle opérationnel critique; (2) perturber le rythme de l'opération et des sorties aériennes; (3) provoquer un choc au sein de l'opinion publique pour affaiblir le soutien aux opérations en cours»⁽¹⁴¹⁾. Dans le cas d'une menace basse, c'est évidemment le troisième type d'impact qui est recherché. Par des opérations discontinues ou ponctuelles, de nature asymétrique voire terroriste, il s'agit d'engendrer un choc psychologique au sein des forces aériennes occidentales, en leur montrant qu'elles ne sont pas à l'abri, et si possible de susciter dans un même mouvement un choc politique dans la capitale du pays allié comme dans les débats internes de la puissance occidentale visée.

Tout d'abord, il importe de prendre conscience de la faisabilité souvent assez élevée d'attaques terroristes ou asymétriques à l'encontre des bases. Sur le territoire national et plus encore à l'étranger, les bases aériennes sont loin d'être toutes adéquatement défendues, en particulier dans certains pays pauvres, par

(139) *Ibidem*, p. 22.

(140) Cf. l'encadré «Un procédé de techno-guérilla à fort potentiel : l'IED aérien» ainsi que «Contestation terrestre de la puissance aérienne» *infra*.

(141) David Schlapak et Alan Vick, «*Check Six begins on the ground*» – *Responding to the Evolving Ground Threat to US Air Force Bases*, Santa Monica, Rand Corporation, 1995, p. 15.

exemple en Afrique⁽¹⁴²⁾. La pénétration en force du périmètre par des éléments hostiles ou leur insertion plus discrète est dès lors envisageable et requiert surtout organisation, entraînement et motivation. Avec quelques équipements d'infanterie plus sophistiqués que des armes légères, en particulier des MANPADS et des missiles antichar guidés (ATGM), il devient possible d'opérer à distance de sécurité (1 à 2 km) et de profiter d'un éventuel relief. Comme option intermédiaire, des fantassins entraînés peuvent également utiliser des fusils de *sniper* ou des RPG, dont la tête est plus puissante que celle des MANPADS et qui peuvent être très précis lorsqu'ils sont correctement utilisés – un Chinook a ainsi été détruit en Afghanistan par un RPG⁽¹⁴³⁾.

En second lieu, il ne faut pas perdre de vue que des attaques « terroristes », c'est-à-dire ponctuelles, contre une base aérienne sont susceptibles d'entraîner des effets réels très dommageables. Comme l'Afghanistan l'a rappelé avec acuité lors de l'attaque du camp *Bastion* de septembre 2012, qui s'est soldée par deux *Marines* tués, neuf blessés, ainsi que six *Harriers* détruits et deux endommagés, quelques moyens rudimentaires (quinze hommes équipés de RPG et d'explosifs dans des vestes, mais portant des uniformes américains), lorsqu'ils sont judicieusement utilisés, peuvent permettre de détruire entièrement des avions parqués sans protection sur un tarmac. Une attaque similaire détruisant six *Rafale* sur un aéroport africain représenterait aujourd'hui une véritable catastrophe financière pour l'armée de l'air et la défense en général, sans compter d'éventuels effets opérationnels si une intervention en cours sollicitait les appareils en question. En ce sens, les menaces « moyenne » et « basse » peuvent se rejoindre, temporairement, spatialement (à l'échelle d'un théâtre) ou financièrement.

Enfin, il ne faut pas négliger les effets politiques induits par des attaques ponctuelles. Elles peuvent ainsi compliquer les relations entre la nation-hôte et la puissance occidentale, l'attentat réussi exposant des négligences et des vulnérabilités des deux côtés. De façon plus grave, la pénétration ou l'attaque d'une base, dès lors qu'elle se traduit par des pertes inattendues, peut susciter une sorte « d'effet Uzbin », impliquant des difficultés politiques immédiates à justifier, auprès de l'opinion publique, le maintien de la présence ou de l'opération aérienne et entraînant à plus long terme sa remise en cause. En sens inverse, le contrecoup politique d'un événement de cette nature peut contraindre les autorités à déployer des forces au sol plus nombreuses, enclenchant de ce fait un engrenage débouchant au final sur une véritable escalade, à la manière du Vietnam.

En définitive, le caractère expéditionnaire des opérations actuelles comme la prolifération des technologies permettant les frappes de précision conduisent à une plus grande vulnérabilité des installations aériennes. À terme, et face à

(142) Entretien avec un expert militaire, parlant de la base de base de N'Djamena et des appareils français parqués juste derrière le grillage.

(143) Schlapak, « Check-six Begin on the Ground », *op. cit.*, p. 52 ; voir également entretien avec un expert civil.

une menace de haute intensité technologique et militaire, la « survivabilité » des bases et des porte-avions ne paraît pas assurée. En outre, et même si l'on peut douter que des grandes puissances nucléaires s'affrontent directement, et douter plus encore que la France soit directement impliquée dans une querelle sino-américaine, les menaces de niveau intermédiaire n'en sont pas moins préoccupantes, et semblent de nature à remettre en question les opérations amphibies comme les bases avancées ou *Forward Operating Bases* (FOB)⁽¹⁴⁴⁾. *A contrario*, il convient de façon plus positive de ne pas perdre de vue le caractère fondamentalement politique de l'accès aux bases alliées comme du calcul stratégique pouvant conduire à les menacer, à les frapper ou à s'abstenir⁽¹⁴⁵⁾. En d'autres termes, ce ne sont pas les seules considérations technico-opérationnelles qui détermineront la vulnérabilité des bases.

LE DÉVELOPPEMENT DE MENACES TECHNOLOGIQUES EN RUPTURE

Loin de ne favoriser que les puissances occidentales et interventionnistes, le progrès technologique bénéficie également aux puissances régionales actuelles ou potentielles, voire aux acteurs hybrides ou irréguliers lorsque ceux-ci savent les employer à bon escient. Après vingt années de *Révolution dans les affaires militaires* (RMA) et de *Transformation*, il n'est pas surprenant que les adversaires potentiels des forces occidentales aient investi massivement dans les technologies permettant de contrer les moyens C4ISR, ceux-là mêmes qui constituent le fondement de l'avance occidentale. De ce point de vue, la lutte informatique offensive et les armes antisatellites figurent logiquement au premier rang des menaces technologiques en rupture, recherchées afin de soutenir une contre-stratégie aérienne asymétrique.

PERSPECTIVES GÉNÉRALES SUR LES MENACES CONTRE LES MOYENS C4ISR

L'actuel modèle occidental de la guerre est extrêmement consommateur de données. La progression dans la qualité des capteurs de tous types recueillant du renseignement aux niveaux tactique ou stratégique s'est accompagnée d'une demande d'information accrue jusqu'aux plus bas niveaux d'action, afin de satisfaire les besoins d'amélioration en termes de connaissance de la situation tactique. Il résulte de cette multiplication des moyens C4ISR et de l'adoption d'une pratique de guerre « réticulée » une dépendance de plus en plus poussée à l'égard des systèmes d'information, ainsi qu'une centralité du C4ISR dans les plans d'opérations, à la fois comme moyen et comme cible privilégiée⁽¹⁴⁶⁾.

L'architecture C4ISR aérospatiale se décompose physiquement en plusieurs composantes, l'une aérienne et l'autre satellitaire – chacune étant reliée à des segments terrestres pouvant être émetteurs et/ou récepteurs. Ces deux composantes, aéroportée et spatiale, tiennent des rôles critiques dans la conduite des opérations aériennes contemporaines, en remplissant des missions de

(144) Huiss, *Proliferation of Precision Strike*, op. cit., p. 29-33.

(145) Entretien avec des experts civils et militaires.

(146) Entretien avec des experts civils et militaires.

renseignement et de surveillance multispectraux – y compris d’alerte avancée –, de géolocalisation et de navigation ou de transmissions. Conséquence, entre autre chose, des progrès de l’électronique et de la dépendance croissante à l’égard des systèmes d’information au cours des deux dernières décennies, l’environnement électromagnétique est devenu de plus en plus contesté⁽¹⁴⁷⁾. Cette contestation concerne à la fois la composante spatiale et la composante aérienne, posant des problèmes spécifiques liés au recours croissant à des plateformes pilotées à distance.

Les attaques sur les systèmes C4ISR occidentaux peuvent prendre des formes extrêmement variées, cinétiques ou non cinétiques, destructives ou neutralisantes, ciblant les plateformes, les segments terrestres ou encore les flux d’informations. Les options les plus souvent évoquées pour neutraliser les moyens C4ISR ont été classées par ordre de probabilité décroissante, comme suit⁽¹⁴⁸⁾ : camouflage et dissimulation (cf. « Contestation asymétrique en mode défensif » *infra*) ; perturbation des transmissions (brouillage, usurpation) ; moyens cybernétiques (cf. « Le cyberspace, un nouveau champ de bataille pour les forces aériennes » *infra*) ; attaques sur les stations terrestres⁽¹⁴⁹⁾ ; armes à énergie dirigée ; destruction cinétique des plateformes⁽¹⁵⁰⁾.

PERTURBATION DES TRANSMISSIONS

Les moyens de perturbation des transmissions consistent en des actions de brouillage (*jamming*), voire d’usurpation (*spoofing*) à l’encontre des transmissions à destination des plateformes C4ISR (liaisons montantes) ou provenant de ces plateformes (liaisons descendantes). Bien que les satellites constituent une cible privilégiée, la place croissante occupée par les plateformes pilotées à distance sur le théâtre d’opération va également poser de nombreux problèmes de transmissions.

Les signaux GPS forment un cas exemplaire de l’impact que le brouillage peut avoir sur les pratiques militaires occidentales. Système dual utilisé à des fins de navigation, de géolocalisation ou de ciblage, le GPS est considéré par le Pentagone comme un élément critique pour la conduite de *toutes* ses missions⁽¹⁵¹⁾. Or, les signaux émis par la constellation des satellites GPS, situés en orbite moyenne, sont faibles lorsqu’ils parviennent sur terre, aussi leur brouillage ne requiert-il qu’une puissance relativement faible⁽¹⁵²⁾. Le signal GPS, comme les communications des réseaux de téléphonie mobile, peut être brouillé à l’aide

(147) Entretien avec des experts militaires.

(148) Bruce M. DeBlois, Richard L. Garwin, R. Scott Kemp et Jeremy C. Marwell, « Space Weapons. Crossing the US Rubicon », *International Security*, vol. 29, n° 2, automne 2004, p. 56.

(149) Les attaques sur les stations terrestres n’impliquant pas de modes opératoires ou de capacités spécifiques, elles ne sont mentionnées ici qu’à des fins de rappel. Les dispositions concernant la sécurisation des infrastructures critiques de l’armée de l’air discutées en troisième partie s’y appliquent néanmoins.

(150) La destruction cinétique des plateformes C4ISR habitées (AEW&C surtout) est abordée dans « Le retour du combat aérien ».

(151) *Capability Surprise. Volume I. Main Report*, Washington, Report of the Defense Science Board 2008 Summer Study, Department of Defense, septembre 2009, p. 18.

(152) Frank Oliveri, « The Pentagon’s GPS Problem », *CQ Weekly*, 9 février 2013.

d'appareils dont la disponibilité n'a fait que s'accroître au cours des dernières années. En 2000, il était déjà réputé possible de construire un brouilleur GPS à l'aide de technologies en vente libre pour une somme avoisinant 7 500 dollars⁽¹⁵³⁾. Des brouilleurs GPS individuels sont dorénavant en vente libre pour quelques dizaines d'euros. Des versions plus puissantes, mais toujours disponibles commercialement, sont supposées parvenir à brouiller des récepteurs GPS jusqu'à une distance de 150 à 200 km⁽¹⁵⁴⁾. Des systèmes de brouillage d'intérêt militaire sont apparemment largement diffusés par des pays tels que la Russie, le Belarus et l'Iran⁽¹⁵⁵⁾, et la Corée du Nord a illustré ses capacités dans ce domaine à de multiples reprises⁽¹⁵⁶⁾. Le problème posé par le brouillage GPS est largement pris en compte aux États-Unis, précisément du fait de leur dépendance extrême à l'égard de ce système⁽¹⁵⁷⁾, néanmoins la résilience dont pourraient faire preuve les autres forces armées occidentales face au risque de perturbation des signaux GPS – ou d'autres systèmes de géolocalisation déployés entre-temps – demeure sujette à caution.

Les signaux GPS ne sont néanmoins pas les seuls à pouvoir être brouillés : toutes les transmissions peuvent l'être, avec des possibilités variables selon la puissance de l'émission, les fréquences employées ou les filtres équipant les récepteurs. Bien qu'il soit plus aisé de brouiller les récepteurs terrestres des transmissions provenant des satellites de communication et de diffusion, il est également possible de cibler directement les satellites à l'aide de systèmes basés à terre. Envisageable lorsque la cible est en orbite géostationnaire, le brouillage est considérablement plus difficile lorsque le satellite ciblé est en orbite moyenne ou basse, puisqu'il faut tout d'abord le localiser⁽¹⁵⁸⁾. Les cas de brouillage de satellites de communication sont de moins en moins rares, reflétant la banalisation des technologies requises : rien qu'en 2011, les émissions satellitaires d'une télévision d'opposants bahreïnais ont été brouillées quatre jours seulement après le lancement du satellite, et le gouvernement éthiopien a été accusé de brouiller les émissions d'opposants au régime ainsi que celles du régime érythréen⁽¹⁵⁹⁾.

La zone de couverture d'un brouilleur dépend de sa puissance, aussi semble-t-il nettement avantageux de les baser sur terre, sans contrainte de volume ou de masse. Des brouilleurs pourraient néanmoins être emportés par des satellites placés en orbite basse, afin de brouiller les transmissions provenant de

(153) Paul Marks, «Wanna Jam It ?», *New Scientist*, 22 avril 2000.

(154) David Wright, Laura Grego, Lisbeth Gronlund, *The Physics of Space Security. A Reference Manual*, Cambridge, American Academy of Arts and Science, 2005, p. 119.

(155) Entretien avec des experts civils et militaires.

(156) *Space Security 2011*, Waterloo, Project Ploughshares, 2011, p. 152.

(157) Entretien avec des experts militaires.

(158) Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, *op. cit.*, p. 122.

(159) D'autres exemples récents ont concerné des brouillages effectués par la Libye et l'Iran. *Space Security 2012*, Waterloo, Project Ploughshares, 2012, p. 138-139.

satellites en orbite moyenne ou géostationnaire – leur vitesse de rotation étant différente, la perturbation ne serait qu’intermittente⁽¹⁶⁰⁾.

Au lieu de brouiller une émission, il est également possible de procéder à la manipulation (*spoofing*), opération considérablement plus compliquée consistant à se substituer aux émissions normales pour transmettre des informations erronées à la cible. Comme le brouillage, le *spoofing* agit sur la même fréquence que les ondes normalement reçues par le capteur ciblé, mais doit être émis avec plus de puissance que le signal normal (ce qui est simplifié par une proximité plus grande du capteur), et pouvoir transmettre un signal susceptible d’être lu et interprété correctement par la cible⁽¹⁶¹⁾. Le *spoofing* permet ainsi de tromper un système de géolocalisation afin de faire dévier un appareil de sa trajectoire – ce qui constitue l’une des interprétations permettant d’expliquer la capture par l’Iran d’un drone secret américain de type RQ-170⁽¹⁶²⁾. S’il s’agissait d’un cas de *spoofing* avéré, cela prouverait que soit les liaisons de données, soit le signal GPS militaire ont pu être manipulés, confirmant par là même que la menace du *spoofing* ne concerne pas les seules transmissions civiles, mais menace même les systèmes de drones américains parmi les plus sensibles⁽¹⁶³⁾.

Les transmissions s’appuyant sur des systèmes civils, qu’elles interagissent avec des drones ou des satellites, sont pourtant par nature beaucoup plus exposées au brouillage et à la manipulation. Tandis que les systèmes à vocation purement militaire bénéficient de mesures de protection (durcissement, cryptage, etc.), les systèmes civils tendent à privilégier les performances au détriment de la sécurité des transmissions⁽¹⁶⁴⁾. Le problème dépasse en réalité le strict cadre des activités purement civiles, pour deux raisons : tout d’abord, les armées font un usage massif des satellites de communication civils, ne bénéficiant donc pas des mêmes mesures de sécurisation ; en outre, le développement du secteur des drones se fait en parallèle dans les secteurs civils et militaires, et l’achat de technologies sur étagère peut être à l’origine de vulnérabilités inattendues. Les problèmes posés par un recours massif aux drones en termes de sécurisation des liaisons de données tactiques et de transmissions ont été soulignés de manière répétée⁽¹⁶⁵⁾.

ARMES À ÉNERGIE DIRIGÉE

Tandis que les modes d’action reposant sur le brouillage et la manipulation des transmissions concernent principalement les systèmes de communication spatiaux ou les moyens aéroportés, les armes à énergie dirigées ont pour l’heure surtout vocation à être employées contre des moyens d’observation

(160) Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, *op. cit.*, p. 120.

(161) *Ibidem*, p. 119.

(162) Oliveri, « The Pentagon’s GPS Problem », *op. cit.*

(163) On se reportera ainsi à l’expérience relatée dans Robert N. Charrette, « Commercial Drones and GPS Spoofers a Bad Mix », *IEEE Spectrum*, 25 juin 2012, accessible à l’adresse : <http://spectrum.ieee.org/riskfactor/aerospace/aviation/commercial-drones-and-gps-spoofers-a-bad-mix/>

(164) Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, *op. cit.*, p. 121.

(165) Entretiens avec des experts militaires ; entretien avec des experts civils.

spatiaux, mais pourraient dans l'avenir être utilisées afin d'endommager tout type de satellite ou de plateforme.

Un faisceau laser a pour objectif essentiel de produire un effet d'aveuglement, celui-ci pouvant être temporaire ou définitif selon la puissance du faisceau. Là où un aveuglement temporaire empêche l'observation d'une portion de territoire, un faisceau plus puissant (d'un kilowatt à quelques dizaines de kilowatts) peut dégrader le capteur de manière irrémédiable⁽¹⁶⁶⁾.

En théorie, des lasers employés pour aveugler un satellite peuvent être basés sur terre, sur des plateformes aéroportées ou dans l'espace. Les faisceaux émis depuis la terre, voire depuis les couches basses de l'atmosphère, seront néanmoins potentiellement affaiblis par les conditions météorologiques, affectant leur précision et leur puissance à l'arrivée. Aveugler un capteur optique implique forcément pour le laser de se trouver dans le champ d'observation de ce capteur, et de le cibler avec une grande précision⁽¹⁶⁷⁾. Toute attaque requiert ainsi dans un premier temps une capacité de reconnaissance et de suivi des objets spatiaux. La Chine est ainsi réputée avoir «éclairé» un satellite de reconnaissance américain survolant son territoire en 2006⁽¹⁶⁸⁾.

La puissance du faisceau peut permettre d'aveugler une portion plus large du capteur, et donc d'empêcher l'observation de plus larges zones du globe. Ainsi, si un laser de 10 w peut en théorie «éblouir» un satellite IKONOS pour protéger une zone terrestre d'un rayon d'1 km, un laser de quelques kilowatts pourrait éblouir l'intégralité du capteur (rayon de 10 km)⁽¹⁶⁹⁾.

Comme dans le cas du brouillage, ce domaine est caractérisé par une démocratisation des technologies concernées et par la diffusion du potentiel de fabrication de lasers par des acteurs inattendus et des groupes d'individus⁽¹⁷⁰⁾. Pour ce type d'acteurs, l'aveuglement temporaire des capteurs semble pour l'heure constituer la seule option envisageable.

À plus long terme, la maturation des technologies laser pourrait signifier que les puissances régionales les plus avancées dans ce domaine pourraient être à même de recourir à des lasers chimiques dont la puissance permettrait plus que le seul aveuglement temporaire des capteurs spatiaux, qu'il s'agisse d'une capacité avancée d'aveuglement définitif ou d'une capacité à causer des dommages aux parties non optiques des satellites, notamment les panneaux solaires ou les réservoirs⁽¹⁷¹⁾.

(166) *Space Security 2012*, Waterloo, Project Ploughshares, 2012, p. 143.

(167) Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, op. cit., p. 125.

(168) «China Jamming Test Sparks US Satellite Concerns USA Today», *USA Today*, 5 octobre 2006, www.usatoday.com/tech/news/2006-10-05-satellite-laser_x.htm?POE=TECISVA

(169) Wright, Grego, Gronlund, *The Physics of Space Security*, op. cit., p. 127.

(170) Entretien avec des experts civils et militaires.

(171) Michael E. O'Hanlon, *Neither Star Wars nor Sanctuary. Constraining the Military Uses of Space*, Washington, Brookings Institution Press, 2004, p. 71-77.

DESTRUCTION CINÉTIQUE DES PLATEFORMES

Afin de parvenir à une neutralisation physique des satellites tenant un rôle crucial dans le modèle occidental de la guerre, il existe une grande variété de moyens cinétiques comme alternative aux lasers chimiques, allant des armes nucléaires, qui seraient à la fois extrêmement destructrices et pénalisantes à très long terme pour tous les utilisateurs du domaine spatial, aux véhicules tueurs destinés à cribler leurs cibles d'éclats.

Les procédés antisatellites cinétiques sont intrinsèquement liés à la maîtrise des technologies spatiales, le véhicule tueur étant généralement initialement porté par une fusée ou un missile balistique. Il existe actuellement une petite dizaine de pays pouvant procéder à des mises en orbite⁽¹⁷²⁾, et plus d'une quarantaine de pays disposant déjà de satellites en orbite. Bien que les coûts des mises en orbite aient été réduits par l'intensification de la concurrence provenant des acteurs régionaux, notamment la Chine, les savoir-faire et le capital requis demeurent considérables, aussi le nombre d'acteurs capables de concevoir des lanceurs spatiaux ne devrait-il pas connaître d'accroissement brutal à moyen terme⁽¹⁷³⁾.

L'orbite basse est la plus vulnérable aux attaques ASAT cinétiques. Déjà encombrée par de très nombreux débris, résultant en partie du test ASAT chinois de 2007, cette orbite comporte par exemple les satellites de reconnaissance américains de la gamme *Key Hole*, dont l'altitude varie entre 250 et 400 km⁽¹⁷⁴⁾. Un missile balistique de courte portée dérivé d'un SS-1 *Scud*, par exemple un missile nord-coréen *No Dong* ou pakistanais *Ghauri*, pourrait propulser hors de l'atmosphère une charge contenant un nuage de billes de métal et libérer celles-ci à l'apogée de sa trajectoire balistique, à l'altitude et sur l'orbite de passage du satellite visé. Contrairement aux têtes nucléaires, logées dans des véhicules de rentrée aérodynamiques et durcis contre les radiations, les impacts et la chaleur, les satellites constituent des cibles étendues (notamment du fait des panneaux) et fragiles⁽¹⁷⁵⁾.

En sus de cette première option, d'un coût et d'une complexité relativement réduits, une attaque ASAT pourrait exploiter les faiblesses avérées en termes de connaissance situationnelle de l'environnement tactique immédiat des satellites en orbite, et de leur incapacité à détecter des attaques en cours⁽¹⁷⁶⁾. Des micro- ou nano-satellites, pesant quelques dizaines de kilogrammes, voire moins, pourraient être placés en orbite à proximité des satellites ciblés. La Chine a mis en orbite un microsatellite dès l'an 2000, et il existe une tendance nette

(172) *Space Security 2012*, op. cit., p. 77.

(173) O'Hanlon, *Neither Star Wars nor Sanctuary*, op. cit., p. 33-34, 82-83.

(174) *Ibidem*, p. 43.

(175) DeBlois, Garwin, Kemp et Marwell, « Space Weapons. Crossing the US Rubicon », op. cit., p. 59-60.

(176) Benjamin Lambeth, *Mastering the Ultimate High Ground. Next Steps in the Military Uses of Space*, Santa Monica, RAND Corporation, 2003, p. 103-105.

à la réduction de la masse des satellites développés et mis en orbite⁽¹⁷⁷⁾. Dotés d'une capacité autonome de manœuvre, ils pourraient être utilisés comme mine, misant sur l'effet de souffle ou sur les débris projetés pour neutraliser la cible. Là encore, les satellites en orbite basse apparaissent considérablement plus exposés au risque d'une attaque ASAT par microsatellite que ceux en orbite géostationnaire.⁽¹⁷⁸⁾ Une autre piste exploitant le potentiel des microsatellites comme moyen ASAT consisterait à utiliser des engins manœuvrants à vocation duale, conçus à des fins de maintenance et de réparation⁽¹⁷⁹⁾.

Enfin, il convient de mentionner l'accroissement de la menace qui devrait être posée par des capacités ASAT cinétiques par percussion directe (*hit-to-kill*). Un nombre croissant de pays développe des systèmes de défenses antimissiles balistiques équipés de véhicules tueurs conçus pour conduire des interceptions exo-atmosphériques de cibles intercontinentales allant jusqu'à 8 à 9 km par seconde. Cette tendance aboutit à une diffusion des technologies capables d'intercepter des satellites : États-Unis, Russie et Chine ont déjà mené à bien des tests ASAT grâce à des moyens balistiques. L'*Arrow 3*, intercepteur exo-atmosphérique en développement en Israël, et le *Prithvi Air Defense* indien pourraient également être dotés de telles capacités. Ces systèmes concernent en priorité des cibles satellitaires situées en orbite basse, l'interception de satellites en orbite moyenne constituant un défi plus complexe à résoudre, et encore moins susceptible d'une dissémination large⁽¹⁸⁰⁾.

Au final, l'architecture C4ISR des armées de l'air occidentales devrait connaître une exposition de plus en plus forte aux menaces de perturbation. Des technologies initialement issues du domaine de la guerre électronique et auparavant réservées à un nombre restreint d'États sont dorénavant disponibles dans le domaine civil et connaissent ainsi une forte diffusion. Bien que les technologies les plus menaçantes – en particulier les capacités d'attaque antisatellite cinétique – ne soient pas appelées à connaître une large dissémination, la dépendance extrême des forces armées occidentales à l'égard des flux d'information, encore accrue par le recours croissant aux plateformes pilotées à distance, contribue à faire des attaques contre les systèmes et flux C4ISR des domaines d'investissements privilégiés d'adversaires potentiels⁽¹⁸¹⁾.

(177) Guilhem Penent, « Une nouvelle donne dans les affaires spatiales. Petits satellites, grands bouleversements ? », *DSI*, hors série n° 28, p. 94-98.

(178) O'Hanlon, *Neither Star Wars nor Sanctuary*, *op. cit.*, p. 85-89.

(179) Ceci a apparemment été expérimenté dans le cadre de *wargames* conduits pour le compte du Pentagone. Entretien avec des experts civils.

(180) Jeffrey Lewis, « 'Hit-to-Kill' and the Threat to Space Assets », in *Celebrating the Space Age. 50 Years of Space Technology, 40 Years of the Outer-Space Treaty*, Conference Report, Genève, UNIDIR, 2007, p. 147-153 ; Victoria Samson, « India's Missile Defense/Anti-satellite Nexus », *The Space Review*, 10 mai 2010, <http://www.thespacereview.com/article/1621/1>

(181) Par ailleurs, le fait que les armées occidentales agissent dans le cadre de coalitions signifie que chaque opération peut s'accompagner d'une superposition de couches de C2. L'intégration de systèmes disposant de degrés de sécurisation variables est susceptible de comporter des vulnérabilités fragilisant l'architecture globale. Entretien avec des experts civils et militaires.

L'impact généralisé de la révolution informatique et la dépendance croissante de l'ensemble des sociétés occidentales à l'égard des systèmes d'information ont donné à la menace cybernétique un caractère global et systémique. Il convient cependant de faire attention quant aux termes employés et de préciser ce dont il est question. En dehors de la cybercriminalité – qui continue de représenter en 2012 plus de 57% des attaques dans le monde⁽¹⁸²⁾ –, la menace cybernétique prend aujourd'hui trois formes principales : l'espionnage, le sabotage et la subversion (« hacktivisme »)⁽¹⁸³⁾. La « cyberguerre » proprement dite, c'est-à-dire entraînant une disruption des systèmes d'information en les rendant inutilisables, ne concernerait sur l'année 2012 que 3,3% des attaques répertoriées à l'échelle internationale. De même, le secteur de la défense ne représenterait pas plus de 3 à 4% des attaques totales⁽¹⁸⁴⁾. Il ne saurait donc être question d'aborder ici l'ensemble des capacités cybernétiques développées par des adversaires potentiels, même s'il est évident que des cyberattaques sur les infrastructures critiques, civiles ou militaires, auraient nécessairement un impact sur les forces aériennes. De par son caractère indirect, il est difficile de préciser à quel moment une cyberattaque relève de la contre-stratégie aérienne.

Des forces aériennes en première ligne. Ceci étant, il est clair que les forces aériennes apparaissent aujourd'hui plus exposées que les autres armées, du fait de leur plus grande dépendance à l'égard des systèmes d'information (SI), à la fois en raison de l'existence de réseaux de commandement et de conduite des opérations critiques mais également du fait de la présence de SI dans tous les systèmes d'armes⁽¹⁸⁵⁾. La cellule de pilotage d'un avion de 4^e génération est désormais entièrement informatisée, de même que sa maintenance et la préparation de la mission *via* des connexions physiques par câbles ou par cartouches dans le cas de la transmission des plans de vol. La connectique utilisée pour ces dernières est « relativement banalisée »⁽¹⁸⁶⁾. Ainsi, si les risques d'attaque directe sur les systèmes d'exploitation équipant les aéronefs restent faibles du fait de leur haut niveau de sécurité et de leur caractère extrêmement spécifique, un scénario d'attaque contre leur environnement technologique immédiat est, en revanche, plus réaliste.

Une majorité d'attaques banalisées. Les attaques informatiques recensées à ce jour sur les forces aériennes occidentales sont très largement le fait de logiciels malveillants (*malware*) banalisés, issus de la sphère internet et qui ne ciblent pas spécifiquement les forces militaires ni *a fortiori* les armées de

(182) Ces données ont été répertoriées et compilées par un ingénieur de la firme Lastline, Inc. et son accessible sur son blog Hackmageddon, « 2012 Cyber Attacks Statistics », accessible à l'adresse <http://hackmageddon.com/2012-cyber-attacks-statistics-master-index/>

(183) Thomas Rid, « Cyber War Will Not Take Place », *Journal of Strategic Studies*, 2011, p. 1-28 (*iFirst* article). Lire également Michel Baud, « La cyberguerre n'aura pas lieu mais il faut s'y préparer », *Politique étrangère*, vol. 77, n° 2, 2012, p. 305-316.

(184) Hackmageddon, « 2012 Cyber Attacks Statistics », *op. cit.*

(185) Entretiens avec des experts civils et militaires.

(186) Entretien avec un expert militaire.

l'air. Ces « attaques » sont donc surtout liées à un manque d'hygiène informatique ainsi qu'à un déficit de contrôle des mises à jour des différents logiciels de sécurité. Les systèmes d'exploitation utilisés par les forces aériennes provenant souvent du monde civil, et ce pour des raisons de coût de développement, sont donc vulnérables aux mêmes virus et autres *malware* que toute autre plateforme commerciale⁽¹⁸⁷⁾. En France, l'essentiel des systèmes d'information du ministère de la Défense fonctionne sur des packs plus ou moins modifiés de *Windows*. Alors que le contrat liant la Défense à *Microsoft* vient d'être reconduit en 2013⁽¹⁸⁸⁾, le rapport du sénateur J.-M. Bockel sur la cyberdéfense n'en soulignait pas moins que « l'utilisation d'applications informatiques disponibles sur le marché « grand public » augmente elle aussi les risques de vulnérabilité »⁽¹⁸⁹⁾.

Ces attaques banalisées n'en sont pas moins une véritable menace sur la disponibilité des systèmes. La paralysie de ceux-ci peut entraver une utilisation optimale des systèmes d'armes et diminuer leur efficacité, voire, pour des raisons de sécurité, en empêcher l'utilisation. Les 15 et 16 janvier 2009, le réseau interne de la marine française *IntraMar*, fonctionnant sous *Windows*, a ainsi été infecté par un ver relativement banalisé, *Win32 Conficker*. Le déclenchement des procédures de sécurité aurait alors entraîné l'arrêt du réseau avec une influence possible sur la capacité des *Rafale M* à télécharger leurs plans de vol⁽¹⁹⁰⁾. Les systèmes d'armes restent exposés à des attaques banalisées, *a priori* bénignes, et ce particulièrement lorsque leur mise à niveau en termes de SSI implique une coopération multinationale.

Des attaques ciblées en augmentation. Bien que les attaques banalisées restent une majorité, l'année 2012 a vu une augmentation de 42 % des attaques ciblées à travers le monde, attestant d'une sophistication croissante des méthodes de cybercriminalité⁽¹⁹¹⁾. Dans le cas du ministère de la Défense en France, tout en restant minoritaires, ces attaques ciblées constituent « un fonds régulier et dont la proportion augmente progressivement »⁽¹⁹²⁾, à mesure que l'interconnexion systémique avec Internet se poursuit. Si elles sont nettement moins nombreuses, les attaques ciblées sont également plus dangereuses. À l'heure

(187) *Ibidem*.

(188) Reynald Fléchaux « Le ministère de la Défense poursuit sa lune de miel avec Microsoft », *LeMagiIT*, 18 avril 2013, accessible à l'adresse : <http://www.lemagit.fr/divers/2013/04/18/le-ministere-de-la-defense-poursuit-sa-lune-de-miel-avec-microsoft/>

(189) Sénat, *Rapport d'Information n° 681* fait au nom de la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées sur la cyberdéfense, par M. Jean-Marie Bockel, session extraordinaire 2011-2012, 18 juillet 2012, p. 31.

(190) « Certains aspects organisationnels auraient mal fonctionné provoquant ponctuellement une surréaction de certains acteurs qui se sont inutilement isolés par des coupures brutales de réseau. Le RETEX de l'attaque aurait ainsi permis de faire émerger le besoin d'un OG-LID », entretien avec un expert militaire. Jean-Dominique Merchet, « Les armées attaquées par un virus informatique », blog secret-défense, 5 février 2009, accessible à l'adresse : <http://secretdefense.blogs.liberation.fr/defense/2009/02/les-armes-attaq.html>

(191) Symantec Corporation, *Internet Security Threat Report 2012 Trends*, vol. 18, avril 2013, p. 10.

(192) Entretien avec un expert militaire.

actuelle, il semble que les tentatives de vols d'information sont fréquentes⁽¹⁹³⁾. Le cyberespionnage peut assurément contribuer à l'émergence de contre-stratégies aériennes, en participant de l'effet de rattrapage technologique sur l'avance occidentale. C'est ainsi qu'en 2009 un article du *Wall Street Journal* révélait que le Pentagone, et ses contractants Lockheed Martin et Northrop Grumman, avaient été victimes d'une attaque majeure visant à voler des données portant sur le programme de chasseur-bombardier *Joint Strike Fighter*⁽¹⁹⁴⁾.

Les attaques les plus menaçantes ne résident pas dans les intranets, mais dans les systèmes informatisés de commandement, de contrôle et de communication (C3I) et les réseaux de contrôle et d'acquisition de données (SCADA). Ces derniers semblent constituer des cibles particulièrement privilégiées et dont l'impact serait majeur sur les armées de l'air. Selon l'ancien analyste de la NSA devenu expert en cybersécurité Dale Peterson, il peut se révéler extrêmement difficile d'accéder à des SCADA, mais une fois pénétrés, ces systèmes sont naturellement mal sécurisés, du fait même de leur architecture informatique, et sont dénués de procédure d'authentification⁽¹⁹⁵⁾. La soutenabilité d'une arme cybernétique ciblée à l'intérieur d'un système précis demande toutefois des capacités plus complexes permettant de simuler une activité relativement normale afin de ne pas éveiller les soupçons de l'utilisateur. Une telle attaque implique un important effort initial de renseignement. Le système initial doit être connu et analysé par le développeur de la cyberarme afin que ce dernier puisse exploiter habilement failles logiques jusqu'alors inconnues des administrateurs et connues sous le nom de « *zero day* » : l'exploitation d'une telle faille permet à une charge cybernétique de se déployer sans être détectée⁽¹⁹⁶⁾.

Sneakernet. Les attaques ciblées prennent pour cible des systèmes d'information et de communication internes qui sont généralement distincts de SI publics connectés à Internet. Les pirates peuvent théoriquement accéder à des SI sécurisés en franchissant les passerelles connectées à la fois au réseau public et aux réseaux internes. Les ordinateurs connectés à la fois au réseau public et aux intranets sont donc les points d'entrée. Les passerelles sont capables de filtrer de plus en plus de choses, mais l'exploitation de failles potentielles inconnues jusqu'alors reste toujours un risque.

La principale réponse sécuritaire à la menace cybernétique a été de minimiser les passerelles et de prôner la séparation physique, électrique et électromagnétique des réseaux (*air gaps*). Ces « trous d'air » peuvent cependant être franchis à l'aide des utilisateurs eux-mêmes : ainsi en 2008, un virus d'espionnage

(193) *Ibidem*.

(194) Phillip C. Saunders et Joshua K. Wiseman, *Buy*, « Build, or Steal : China's Quest for Advanced Military Aviation Technologies », Institute for National Strategic Studies, *China Strategic Perspectives*, n° 4, décembre 2011 ; Siobhan Gorman, August Cole, and Yochi Dreazen, « Computer Spies Breach Jet Fighter Program », *The Wall Street Journal*, 21 avril 2009.

(195) Dale Peterson, « Offensive Cyber Weapons : Construction, Development, and Employment », *Journal of Strategic Studies*, vol. 36, n° 1, 2013, p. 1.

(196) Gary McGraw, « Cyber War is Inevitable (Unless We Build Security In) », *Journal of Strategic Studies*, février 2013, vol. 36, n° 1, p. 109-119.

(*spyware*) d'origine russe est parvenu *via* un envoi massif de courriers électroniques, à infiltrer l'intranet non classifié du Département américain de la défense (NIPRNET), mais l'utilisation non contrôlée de périphériques USB par des utilisateurs non conscients d'avoir été infectés a permis au *spyware* de franchir l'*air gap* et d'infiltrer ainsi le réseau classifié « secret » (SIPRNET)⁽¹⁹⁷⁾. Cette voie de transmission, qualifiée de « *sneakernet* » par certains experts, est aujourd'hui la principale voie d'accès des virus informatiques aux systèmes d'information militaires⁽¹⁹⁸⁾. Suite à une série d'affaires de ce type, le Département américain de la Défense, et notamment l'USAF, en pointe sur cette problématique, ont développé des procédures extrêmement strictes quant à l'emploi de périphériques extérieurs, allant jusqu'à bloquer physiquement l'accès aux ports femelles des unités centrales⁽¹⁹⁹⁾.

Vulnérabilité des plateformes non habitées. De tous les domaines cybernétiques touchant aux forces aériennes, le risque associé aux drones semble aujourd'hui l'un des plus inquiétants. La conception de ces aéronefs sans pilote laisse de fait une part prépondérante aux systèmes d'information (piloteage et transmissions), ce qui accroît considérablement leur vulnérabilité en la matière.

À bien des égards, c'est la chaîne de commande informatisée qui semble être le maillon faible du système. Une infection virale apparemment bénigne a contaminé en septembre 2011 les postes de contrôle des drones américains *Predator* et *Reaper* opérant en Afghanistan⁽²⁰⁰⁾. Le virus, d'origine inconnue, aurait été introduit dans les ordinateurs de la base aérienne de Creech au Nevada *via* des disques durs externes. En pénétrant dans les organes C2, un cyberadversaire performant pourrait ainsi théoriquement intercepter les communications d'un drone, le leurrer et même en prendre le contrôle.

Enfin, le code malveillant (charge utile) développé par un adversaire à destination d'un drone pourrait également s'adresser directement à la plateforme elle-même *via* un vecteur électromagnétique. Cette forme de « guerre cybernétique sans fil » rejoint ici les techniques de guerre électronique avancées (*cf.* « Perspectives générales sur les menaces contre les moyens C4ISR » *supra*), attestant ainsi d'une convergence croissante entre les deux domaines.

(197) Thomas Rid, « Cyber War will not take place », *op. cit.*, p. 17. Cette méthode aurait également été employée afin d'infiltrer le virus informatique *Stuxnet* dans le système d'information contrôlant les centrifugeuses de l'usine iranienne de Natanz. Le ver aurait ainsi « pollinisé » jusqu'à 100 000 systèmes avant de tomber finalement sur les deux systèmes de contrôle des centrifugeuses initialement ciblés. Sur *Stuxnet* lire Nicolas Falliere, Liam O Murchu and Eric Chien, *W32. Stuxnet Dossier. Version 1.4*, Symantec Corporation, 2011.

(198) Entretien avec un expert militaire.

(199) Entretien avec des experts civils et militaires.

(200) Noah Shachtman, « Computer Virus Hits US Drone Fleet », blog *Danger Room*, 7 octobre 2011, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2011/10/virus-hits-drone-fleet/>

Le défi majeur que représente cette stratégie de « déni d'information » doit être compris comme l'une des facettes du rattrapage général qui caractérisera assurément les décennies à venir. Après avoir bénéficié pendant plus de vingt ans d'un avantage comparatif en matière d'accès à l'information, l'Occident ne devrait pas être surpris d'assister aujourd'hui à l'émergence de stratégies cherchant à lui en couper l'accès. Parallèlement à cette montée en puissance de capacités asymétriques *high-tech*, d'autres formes de contestation, moins consommatrices en capital mais tout aussi pertinentes, se sont développées afin de réduire l'efficacité de la puissance aérienne, sur la base de ses effets opérationnels et politiques. Cette contestation asymétrique en mode défensif ne doit ainsi pas être uniquement comprise comme une alternative *low tech*, mais bien comme un complément logique aux autres capacités décrites précédemment.

CONTESTATION ASYMÉTRIQUE EN MODE DÉFENSIF

La contestation asymétrique de la puissance aérienne par un adversaire irrégulier et rustique n'est pas une nouveauté⁽²⁰¹⁾. L'emploi de l'aviation dans les « petites guerres » remonte aux années 1920, et les conflits de décolonisation ont largement démontré comment des guérillas dépourvues de moyens technologiques pouvaient fort efficacement mettre en échec des flottes modernes et onéreuses. Si le développement des systèmes sol-air à très courte portée (SATCP également connus sous l'acronyme anglo-saxon de MANPADS) a su donner aux acteurs non-étatiques des capacités d'action défensive directe, l'analyse de cette menace asymétrique sur la puissance aérienne doit également prendre en compte la sophistication tactique d'une nouvelle génération d'acteurs appelés « hybrides »⁽²⁰²⁾ ou encore « techno-guérillas »⁽²⁰³⁾. Cumulant irrégularité stratégique et savoir-faire tactiques conventionnels, ces derniers devraient en effet continuer à développer dans les années à venir des techniques efficaces et à la portée d'acteurs non-étatiques, permettant l'annulation de l'avantage aérien, ou encore son instrumentalisation politico-médiatique.

DÉVELOPPEMENT DES NOUVEAUX SYSTÈMES SOL-AIR À TRÈS COURTE PORTÉE

Sur le plan capacitaire, les SATCP sont devenus depuis le début des années 1970 et l'emploi de missiles 9K32 Strela-2 (SA-7 *Grail*) par des groupes insurgés⁽²⁰⁴⁾, la principale arme à la disposition des belligérants non-étatiques pour contester, ou du moins limiter, la supériorité aérienne occidentale par des moyens d'attaque directe. Avec l'arrivée du FIM-92 *Stinger* américain en 1978, suivi par le 9K38 *Igla* (SA-18) soviétique en 1983 ou encore le sys-

(201) Notons enfin qu'il existe également des capacités offensives à la portée des combattants irréguliers dans la perspective d'attaques sur les bases aériennes (cf. « Des infrastructures vulnérables » *supra*).

(202) Frank G. Hoffman, « Hybrid Warfare and Challenges », *Joint Forces Quarterly*, n° 52, 2009, p. 34-39.

(203) Joseph Henrotin, « Quelques remarques sur les contre-stratégies aériennes envisageables à l'horizon 2030 », in Grégory Bouterin et Camille Grand (dir.), *Envol vers 2025. Réflexions prospectives sur la puissance aérospatiale*, CESA-La Documentation française, 2011, p. 61.

(204) L'un des premiers emplois d'un SA-7 par un belligérant non-étatique a lieu en 1973, lorsque les indépendantistes du PAIGC en Guinée-Bissau abattent en plein vol deux appareils à réaction Fiat G.91 de l'armée de l'air portugaise.

tème français *Mistral-1* introduit en 1988, la nouvelle génération de missiles très courte portée met à la disposition des acteurs irréguliers des capacités de frappe jusqu'alors réservées à des forces nationales. À la manière des SAM de plus longue portée, les systèmes SATCP ont connu des évolutions dans leurs performances – bénéficiant pour partie des mêmes progrès technologiques que les SAM classiques – ainsi que dans leur diffusion internationale. Il convient d'analyser ces différentes évolutions, de manière à dresser le portrait de la menace actuelle et à venir.

DES PERFORMANCES AMÉLIORÉES

Portée et vitesse. Ces deux éléments sont généralement les premiers à être mis en avant par les médias en termes de performance des systèmes. Bien qu'elles aient évolué, la portée et la vitesse des armes SATCP devraient rester dans un ordre de grandeur similaire à celui connu jusqu'à présent. Là où les systèmes de première génération type SA-7 dépassaient difficilement les 4 km de plafond, les systèmes plus récents l'ont progressivement accru jusqu'à parvenir à 6 000 mètres dans le cas de l'*Igla-S* (SA-24) russe⁽²⁰⁵⁾. Cette progression, qui reste largement sous le plafond des appareils militaires, devrait pourtant s'arrêter dans l'avenir prévisible, dans la mesure où le seul moyen d'accroître encore la portée impliquerait d'augmenter le poids des missiles et donc de réduire considérablement leurs mobilité et « intraçabilité », atouts majeurs de ces systèmes.

La vitesse est également un élément important à prendre en compte. Le missile de fabrication américaine FIM-92 *Stinger* évolue à une vitesse proche de Mach 2,2, une vitesse supersonique à laquelle très peu d'avions peuvent échapper par des seules manœuvres évasives⁽²⁰⁶⁾. Les systèmes de fabrication russe ou chinoise, même très récents, culminent en revanche à des vitesses moindres – de l'ordre de 400 m/s (soit Mach 1,2) dans le cas de l'*Igla-S* (SA-24)⁽²⁰⁷⁾.

Système de guidage et cinématique. Les véritables évolutions portent davantage sur le système de guidage, ainsi que sur la précision des tirs. Les nouveaux systèmes sont désormais souvent multispectraux, combinant parfois jusqu'à trois modes de guidage différents au cours du vol⁽²⁰⁸⁾. Ce type de technologies permet de réduire considérablement la vulnérabilité du missile aux contre-mesures éventuelles de l'appareil ciblé. Dans le cas des contre-mesures infrarouges, qui prennent généralement la forme de leurres destinés à offrir des sources de chaleur alternatives aux capteurs IR du missile, des contre-contre-mesures ont été mises en place au moyen de microprocesseurs embarqués, capables de discriminer les leurres de la source originale et de rester focalisés sur celle-ci. Les FIM-92 *Stinger*, et vraisemblablement les SA-24, disposent d'un *target adaptive guidance system*, technologie permettant au missile de se réorienter vers

(205) « *Igla-S* », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 18 juin 2012.

(206) « *FIM-92 Stinger* », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 13 août 2012.

(207) « *Igla-S* », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 18 juin 2012.

(208) Entretiens avec des experts civils et militaires.

le cockpit de l'appareil dans les toutes dernières secondes avant la détonation⁽²⁰⁹⁾. Le système de guidage terminal infrarouge traditionnel se dirige en effet vers les réacteurs de l'appareil (ailes ou queue) et ne permet pas toujours de provoquer des dégâts irréparables sur l'avion – viser le cockpit constitue en revanche une tactique plus définitive⁽²¹⁰⁾.

Le profil de vol et la cinématique des vecteurs ont également évolué : les missiles modernes n'adoptent plus une trajectoire de poursuite linéaire dans le sillage de la cible, comme les systèmes plus anciens. Les systèmes modernes calculent désormais une trajectoire parallèle d'interception, qui utilise moins de fuel et face à laquelle l'appareil accroché peut difficilement prendre des actions évasives.

Ces évolutions électroniques et cinématiques ont permis d'accroître la probabilité de destruction (pK) qui est désormais évaluée au premier tir à 90% pour les systèmes récents. L'interface utilisateur est également simplifiée et rendue plus performante : ainsi, les systèmes de contrôle des modèles récents sont conçus pour que le lanceur ne puisse déclencher le tir si les chances de succès sont faibles – par exemple, s'il y a une chance prévisible que le signal (principalement IR) soit perdu après la mise à feu⁽²¹¹⁾.

Intégration. La menace SATCP a jusqu'à présent reposé sur une utilisation opportuniste et ponctuelle des systèmes, sans véritable intégration opérationnelle de la part des acteurs irréguliers. L'émergence d'acteurs dits « hybrides », tels le Hezbollah libanais ou certains cartels de la drogue mexicains qui disposent de moyens financiers et de procédures quasi militaires effectives, pose la question de l'emploi systématique et intégré de ces systèmes SATCP. Associés à une intégration C2, même fruste, et à quelques autres systèmes SAM de plus longue portée, les systèmes SATCP peuvent constituer un SDAI dense et mobile qui serait gênant et difficile à neutraliser parfaitement par une armée de l'air occidentale⁽²¹²⁾. Des systèmes d'intégration C2 destinés aux missiles portatifs existent déjà, à l'image du ShLEM développé depuis plus de dix ans par le Belarus, et qui permet de contrôler jusqu'à neuf lanceurs SATCP répartis de manière aléatoire dans un rayon de 60 km⁽²¹³⁾. Il semble également exister des tablettes numériques permettant théoriquement de connecter le lanceur à une source radar ou à tout autre capteur ISR – la diffusion à l'export de ces technologies relativement récentes n'a cependant pas été confirmée dans les sources ouvertes⁽²¹⁴⁾. La connexion sans fil de moyens SATCP à des données ISR issues d'une ou de plusieurs sources isolées transformerait radicalement la

(209) Entretien téléphonique avec un expert civil.

(210) Entretien avec des experts civils et militaires.

(211) Entretien téléphonique avec un expert civil.

(212) Entretien avec des experts civils et militaires.

(213) « ShLEM command system can co-ordinate nine MANPADS », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 21 août 2003.

(214) Entretien avec des experts militaires.

menace pour les forces aériennes, dès lors que les opérateurs ne dépendraient plus d'une identification visuelle de leur cible.

UNE MENACE ENCORE LARGEMENT INDIRECTE

En dépit de l'accroissement des performances décrites précédemment, la menace SATCP sur les flottes militaires, qu'il s'agisse de chasseurs ou d'appareils de soutien (transport, ravitaillement, C4ISTAR), reste, dans un contexte asymétrique, relativement modérée. En dehors d'un tir de face au cours d'une passe à basse altitude⁽²¹⁵⁾, les missiles portatifs présentent des risques limités et ne sauraient être suffisants pour interdire l'accès d'un théâtre à des forces aériennes modernes. En revanche, la menace est très élevée pour l'aviation civile – totalement dépourvue de contre-mesures et qui a déjà été attaquée à près de quarante reprises par ce type de systèmes depuis 1970⁽²¹⁶⁾ – ainsi que pour les hélicoptères de combat, nettement plus vulnérables du fait de leur altitude, de leur profil de vol mais également de leurs spécificités aéronautiques⁽²¹⁷⁾. La menace SATCP sur les voilures tournantes exerce à ce titre un impact indirect sur les forces aériennes (voilures fixes) qui devraient ainsi suppléer les hélicoptères dans un environnement fortement hostile – comme ce fut en partie le cas en Afghanistan après la livraison des missiles FIM-92 *Stinger* aux moudjahidines⁽²¹⁸⁾.

De manière plus générale, la très faible signature de ces systèmes, à courte portée mais extrêmement mobiles, leur confère un caractère de « menace en puissance » (*threat in being*) qui est peut-être l'un des effets majeurs de ces armements. Par-delà la réalité de la menace, la crainte qu'elle suscite suffit à avoir un impact sur les règles d'engagement des forces aériennes – et notamment dans le cadre de « guerres de choix » dans lesquelles l'aversion au risque est élevée. La présence d'une menace SATCP indétectable et imprévisible favorise la constitution d'une zone, non pas d'exclusion, mais de restriction, imposant aux appareils de voler plus haut⁽²¹⁹⁾. Ceci a été parfaitement démontré par la réaction de l'aviation syrienne en 2012, dès lors que des vidéos ont montré la capture d'un SA-7 par les rebelles⁽²²⁰⁾. À partir du moment où la menace est estimée crédible, elle va être prise en compte dans les manœuvres. Parfois la possession de ce type de systèmes présente avant tout un intérêt symbolique pour l'acteur⁽²²¹⁾.

(215) Entretien avec des experts militaires.

(216) Kelly Martin et Oliver Fritz, « Sustaining the Air Commons », *op. cit.*, p. 89.

(217) Sur ce point, voir Étienne de Durand, Benoît Michel et Elie Tenenbaum, « La guerre des hélicoptères. L'avenir de l'aéromobilité et de l'aérocombat », *Focus stratégique* n° 32, juin 2011.

(218) Entretien avec des experts civils.

(219) Entretien avec des experts militaires.

(220) Entretien avec des experts civils et militaires.

(221) Entretien avec des experts militaires.

Un procédé de techno-guérilla à fort potentiel : l'IED aérien

Une illustration hypothétique de cette menace indirecte et diffuse serait l'introduction et la mise à disposition d'adversaires irréguliers de mines anti-aériennes. Développé depuis la fin des années 1980 par les bureaux d'études russes et américains, ce concept repose sur l'idée d'employer la technologie SATCP en liaison avec un capteur acoustique capable de détecter le passage d'un aéronef et de déclencher automatiquement un tir de missile. Un dispositif équivalent aurait été présenté par la Russie en 2002 sous la forme d'un prototype d'une «mine antihélicoptère» possédant également une capacité antidrone. Ce système disposerait d'un détecteur radio-acoustique d'une portée de 800 à 1 000 mètres, ainsi que d'un guidage directionnel infra-rouge – une technologie répandue dans le commerce, notamment dans le domaine des ouvertures automatiques. Une fois la cible à proximité (150 à 180 mètres), et suite à la mise à feu d'une charge de plastic, une charge creuse (explosively formed penetrator) est projetée à une vitesse de 2 500 m/s sur l'aéronef, sans possibilité d'action évasive ou de contre-mesure. Fondée sur l'emploi des IED irakiens, cette technique pourrait connaître une large diffusion si son coût restait relativement modéré, la rendant ainsi accessible à des acteurs non-étatiques. Faisant planer un danger permanent sur les vols à basse altitude, ce dispositif est l'une des voies possibles concourant à la réduction de la marge de manœuvre des forces aériennes occidentales au-dessus de théâtres considérés auparavant comme fortement permissifs.

UN RISQUE DE PROLIFÉRATION DIFFICILE À ÉVALUER

Le nombre d'entreprises productrices de missiles SATCP ayant diminué fortement au lendemain de la guerre froide, de nombreux pays se sont donnés les moyens, légaux ou illégaux, de produire eux-mêmes ces systèmes, souvent considérés comme critiques. Alors que la production était initialement limitée aux États-Unis et à l'Europe (Russie incluse), des pays tels que l'Égypte, le Pakistan, la Corée du Nord ou encore le Vietnam disposent désormais de licences et de chaînes de montage nationales permettant une production en propre.

Transferts de technologie. Cette multiplication des pays producteurs a amené à un certain nombre de transferts de technologie favorisant la diffusion de nouvelles générations de systèmes. Ainsi, à la fin des années 1990, des anciens moudjahidines afghans ont vendu deux missiles FIM-92 *Stinger* au Pakistan dont au moins un aurait été racheté par la Chine. Parallèlement, celle-ci aurait acquis un exemplaire du système français *Mistral-1*. En 2000, la RPC dévoilait ainsi le FN-6, un nouveau missile aux performances avancées qui rassemble des attributs du *Mistral* (nez octogonal) et du *Stinger* (alimentation et antenne IFF), et ne ressemble à aucun système chinois antérieur. La

Chine exporte ces systèmes. Ils pourraient permettre aux acquéreurs de sauter une génération de missiles⁽²²²⁾.

La conséquence de cette multiplication des sources de production est la dissémination importante des stocks de systèmes. En 2004, cent cinq pays possédaient des systèmes SATCP dans leur arsenal de guerre et environ quinze pays étaient considérés comme producteurs⁽²²³⁾. En juin 2011, un rapport du *Small Arms Survey* estimait qu'un stock de 500 à 750 000 systèmes était en circulation dans le monde et que plus de trente groupes non-étatiques répartis dans plus de vingt pays en avaient en leur possession.

«**Intraçabilité**» des systèmes. La dissémination des systèmes SATCP auprès de belligérants non-étatiques peut résulter de politiques étatiques délibérées des États producteurs, mais également de prises de guerre, ainsi que de trafics d'armes rendus possibles par une mauvaise gestion de la sécurité des arsenaux⁽²²⁴⁾. La taille réduite des systèmes SATCP et leur caractère démontable contribuent également à compliquer considérablement leur traçabilité internationale. Les parties mécaniques peuvent ainsi être démontées, au point d'être difficiles à identifier par des agents des douanes⁽²²⁵⁾. Le parcours des missiles SA-7b utilisés par des djihadistes africains dans les attentats de Mombassa en 2002 témoigne bien de la complexité des voies de diffusion de ce type d'armement : de conception soviétique, les systèmes disposaient de missiles de fabrication bulgare en 1993, l'ensemble aurait été vendu au Yémen, d'où les systèmes auraient ensuite été dérobés par des services clandestins érythréens qui les auraient livrés à une faction combattante somalienne en 1998. Les armements auraient finalement été introduits au Kenya par voie maritime, avant d'être employés contre un Boeing de la compagnie israélienne *Arkia Airlines*⁽²²⁶⁾.

C'est vraisemblablement par des voies similaires que le Hezbollah libanais aurait acquis à partir de l'année 2010 un stock de systèmes russes *Igla-S* (SA-24) par l'intermédiaire de la Syrie qui l'aurait elle-même obtenu de son allié russe⁽²²⁷⁾ — bien que Moscou se soit engagé à ne pas le diffuser à ce pays. La publication sur Internet en novembre 2012 de photographies de rebelles syriens issus du groupe djihadiste *Tajamo Ansar al-Islam* posant avec des reproductions russes factices du SA-24, semble clairement indiquer que les forces syriennes avaient reçu de tels systèmes qui pourraient désormais se trouver entre les mains de groupes terroristes⁽²²⁸⁾.

(222) Entretien téléphonique avec un expert civil.

(223) James Bevan, « MANPADS : Big Issue, Big Problem? », in *Small Arms Survey 2004 : Rights at Risk*, Oxford University Press, 2004, p. 77-97.

(224) Eric G. Berman, Matt Schroeder et Jonah Leff, « Man-Portable Air Defence Systems (MANPADS) », *Small Arms Survey Research Notes*, n° 1, janvier 2011.

(225) Entretien téléphonique avec un expert civil.

(226) James Bevan, « MANPADS : Big Issue, Big Problem? », *op. cit.*, p. 88.

(227) « Igla-S », *Jane's Land-Based Air Defence (online)*, 18 juin 2012.

(228) Jeremy Binnie, « Syrian rebels obtain Igla-S MANPADS », *Jane's Defence Weekly (online)*, 14 novembre 2012.

Conditions d'entretien et d'utilisation. Le débat entre experts sur les conditions de conservation nécessaires à l'efficacité technique des systèmes SATCP est au cœur de l'évaluation de la menace. En dépit de nombreuses affirmations quant à la sensibilité des ergols de missiles et surtout de l'ensemble pile-refroidisseur (EPR), il semble que les systèmes soient plus robustes aux conditions de stockage qu'initialement supposé. Des propulseurs de SA-7 vieux de près de trente ans auraient ainsi été retrouvés en parfait état de marche en 2003. Il semble également qu'il existe de nombreux moyens inventifs de résoudre la détérioration des batteries ou des EPR ⁽²²⁹⁾. Les efforts déployés par les États-Unis pour tenter d'empêcher la diffusion de systèmes *a priori* vétustes semblent également démontrer que le risque d'emploi, même sous-optimal, de SATCP mal conservés continue de constituer une menace non négligeable ⁽²³⁰⁾.

Diffusion des savoir-faire et des tactiques. Comme dans le cas des SAM traditionnels, le degré d'entraînement et de planification des armées ou des groupes irréguliers possesseurs de systèmes SATCP est un élément critique de l'évaluation capacitaire de la menace ⁽²³¹⁾. Les compétences techniques et tactiques nécessaires à l'utilisation d'un système SATCP font l'objet d'un débat entre experts qui reste difficile à trancher. Il semble néanmoins que les difficultés de mise en œuvre d'une menace SATCP efficace soient trop souvent sous-estimées, notamment dans le cas des modèles les plus anciens tels que les *Strela-2* (SA-7). En revanche, les systèmes les plus récents – notamment *Strela-3* (SA-14) et *Igla-S* (SA-24) – disposent désormais d'une interface utilisateur beaucoup plus intuitive ⁽²³²⁾.

CONTESTATION TERRESTRE DE LA PUISSANCE AÉRIENNE

Le renforcement matériel des adversaires irréguliers s'accompagne également d'un renforcement en termes de capacités tactiques, justifiant ainsi le terme d'acteurs hybrides ⁽²³³⁾. L'efficacité tactique du Hezbollah durant la guerre de 2006 ou encore celle de certains cartels mexicains tels que les Zetas depuis 2007 ⁽²³⁴⁾, a démontré que des belligérants non étatiques, même dépourvus de moyens sol-air sophistiqués, pouvaient fortement limiter l'efficacité de l'arme aérienne.

Le durcissement, la dissimulation, la dispersion et la déception (4D) sont l'un des tout premiers axes capacitaires développés par ce que le général israélien Itai Brun qualifie de « *Other Revolution in Military Affairs (O-RMA)* » pour désigner l'ensemble des adaptations rustiques adoptées par les adversaires des puissances occidentales ⁽²³⁵⁾. Depuis le milieu des années 1990, les

(229) Entretien avec des experts civils et militaires.

(230) Entretien avec des experts civils.

(231) Entretien avec des experts militaires.

(232) Entretien avec des experts civils et militaires.

(233) Frank G. Hoffman, « Hybrid Warfare and Challenges », *Joint Forces Quarterly*, n° 52, 2009, p. 34-39.

(234) Elie Tenenbaum, « Narco-insurrection au pays du serpent à plumes », DSI, n° 70, mai 2011.

(235) Itai Brun, « "While You're Busy Making Other Plans : the 'Other RMA'" », *Journal of Strategic Studies*, vol. 33, n° 4, p. 535-565.

groupes irréguliers qui envisagent de faire face à des puissances occidentales ont fortement renforcé leur survivabilité et leur capacité d'absorption face à une campagne aérienne. À la manière de la stratégie de défense passive déployée par le Nord-Vietnam durant *Rolling Thunder*, le Hezbollah libanais a su exploiter au maximum ce type de capacités rustiques mais efficaces pour faire face à la puissance aérienne israélienne. Le recours massif à des armes à très faible signature, telles que les roquettes sol-sol *Katyusha*, et la réduction du temps d'exposition par l'emploi de tactiques *shoot and scoot* impliquant le déplacement des batteries sitôt le tir effectué laissent peu de possibilités à l'armée de l'air israélienne pour traiter ces cibles à durée limitée (*dynamic targets*)⁽²³⁶⁾. Les stocks d'armes, les centres de commandement et de communication étaient également fortement dissimulés dans le paysage urbain, mêlant ainsi des tactiques de dissimulation et l'instrumentalisation de dommages collatéraux potentiels (cf. «Retournement stratégique de la puissance aérienne contre ses auteurs» *infra*).

Bien qu'elles n'impliquent pas nécessairement de nouvelles technologies, de telles capacités de défense passive sont susceptibles de se diffuser à d'autres acteurs souhaitant adopter une stratégie asymétrique et ayant constaté l'efficacité de ces techniques. Ainsi, les forces loyalistes libyennes ont fait preuve d'une très grande aptitude en termes de dissimulation. Elles semblaient connaître les spécificités des capteurs de l'OTAN, et donc savoir comment se fondre dans le paysage. Leur connaissance semble être issue de leur propre processus d'apprentissage, mais également des informations puisées sur internet ou en provenance des autres théâtres : Tchétchénie, Irak, Afghanistan, Liban grâce aux réseaux islamistes très bien connectés permettant une circulation des savoir-faire⁽²³⁷⁾.

La dématérialisation des réseaux de communication est un autre élément qui contribue à réduire l'efficacité de l'arme aérienne. Les systèmes de commandement et de contrôle (C2) constituent en effet la première cible des forces aériennes dans la perspective désormais classique des « cinq cercles » théorisés par le colonel John A. Warden III. En recourant à un réseau filaire enterré, voire à des messagers à pied ou en voiture banalisée, les forces Serbes au Kosovo ont ainsi pu limiter l'« interdiction informationnelle » exercée par les forces aériennes de l'OTAN durant l'opération *Force Alliée*⁽²³⁸⁾. Là encore, cette capacité de retour à la rusticité constitue une menace indirecte à l'encontre de la puissance aérienne, n'offrant à brève échéance aucune perspective en termes de contre-mesures techniques auxquelles les armées de l'air sont habituées.

(236) Benjamin Lambeth, *Air Operations in Israel's War Against Hezbollah. Learning from Lebanon and Getting It Right in Gaza*, Santa Monica, RAND Corporation, 2011, p. 136 et suiv. ; Stephen Biddle et Jeffrey A. Friedman, *The 2006 Lebanon Campaign and the Future of Warfare : Implications for the Army and Defense Policy*, Carlisle PA, Strategic Studies Institute, septembre 2008, p. 63-65.

(237) Entretien avec des experts militaires.

(238) Larkins Dsouza, « Who Shot Down F-117? », *Defence Aviation*, 8 février 2007.

Une dernière forme de neutralisation indirecte de la puissance aérienne est destinée à contrer les progrès considérables réalisés par les aviations occidentales en matière d'appui aérien rapproché (ou *Close Air Support*, CAS)⁽²³⁹⁾. Afin de limiter la possibilité de mettre en place de tels appuis en faveur des forces terrestres amies, les adversaires irréguliers n'ont pas hésité à se rapprocher au plus près de celles-ci, afin de créer une imbrication (*hugging*) interdisant toute forme de mission CAS, aussi précise fût-elle, au risque d'engendrer un incident fratricide. Ces techniques de *hugging* ont été à nouveau largement employées par les combattants du Hezbollah en 2006, et ont vite été diffusées à différents théâtres⁽²⁴⁰⁾.

La France en a directement été victime lors de l'embuscade d'Uzbin en août 2008. Attaquée par surprise, la patrouille française demande un appui aérien dans les 20 premières minutes qui suivent le début de l'attaque. Deux appareils A-10 *Thunderbolt II* américains en alerte arrivent dix minutes plus tard, mais ne peuvent procéder à la frappe du fait de l'imbrication des combattants, «une manœuvre tactique des Talibans qui ont anticipé la riposte aérienne [et] ont parfaitement compris qu'en procédant ainsi, ils rendent difficile le jeu des appuis»⁽²⁴¹⁾. Il faut donc attendre près de deux heures et la mort de plusieurs autres soldats français pour que la situation se délie et que les A-10 puissent enfin couvrir le retrait du groupe de combat. Là encore, la diffusion de ce type de tactiques auprès des acteurs irréguliers ou hybrides doit être considérée dans les années à venir comme une certitude pour toutes les opérations aériennes à venir sur des théâtres de ce type.

RETOURNEMENT STRATÉGIQUE DE LA PUISSANCE AÉRIENNE CONTRE SES AUTEURS

Plus encore que l'imbrication des combattants, l'incapacité à discriminer les combattants des non-combattants apparaît comme un enjeu crucial pour la puissance confrontée à des stratégies asymétriques. Ce type de conflits, où le soutien des populations locales et la légitimité politique du régime constituent le centre de gravité⁽²⁴²⁾, s'accommode mal en effet d'un mode opératoire qui, lorsqu'il est pratiqué sur un théâtre urbain ou à proximité de populations rurales, cause inévitablement des «dommages collatéraux» et des pertes civiles (CIVCAS). Ces dernières apparaissent d'autant plus inacceptables que la précision est devenue, depuis 1991, l'un des attendus de la pratique militaire occidentale⁽²⁴³⁾. Ainsi, en Afghanistan et en dépit des efforts de l'ISAF, l'arme

(239) Sur ce point, voir Elie Tenenbaum, «Entre ciel et terre», *op. cit.*

(240) Biddle et Friedman, *The 2006 Lebanon Campaign*, *op. cit.*, p. 36-38.

(241) Commission de la défense nationale et des forces armées, «Audition du général d'armée Jean-Louis Georgelin, chef d'état-major des armées, sur les événements et la situation en Afghanistan», compte rendu n° 37, mercredi 10 septembre 2008, accessible à l'adresse : <http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/cr-cdef/07-08/c0708037.pdf>

(242) État-major des armées, DIA 3.4.4. *Contre-Insurrection*, p. 19.

(243) Laurent Fromaget, «Le feu dans le modèle de guerre occidental», *Focus Stratégique*, n° 17, juin 2009, p. 31-32.

aérienne était encore responsable en 2011 de 53% des pertes civiles provoquées par les forces de la coalition ⁽²⁴⁴⁾.

L'exploitation politico-médiatique par l'adversaire de ces effets inhérents à l'arme aérienne (destructions physiques, dommages collatéraux, pertes civiles, etc.) n'a rien de récent : déjà en 1991, l'Irak de Saddam Hussein avait su habilement exploiter le bombardement du bunker d'al-Firdos, rempli de femmes et d'enfants, afin de susciter les sympathies internationales (cf. «Contester la supériorité aérienne occidentale dans l'après-guerre froide» section 1.3). Elias Wahdat, un journaliste travaillant occasionnellement pour Reuters et la BBC dans la province de Khost, est bien connu des Talibans. À chaque fois que les Américains lancent une opération de soutien aérien rapproché, un porte-parole des Talibans lui envoie un SMS. Les Talibans donnent alors leur version des faits, énumèrent les dégâts et donnent une estimation du nombre de victimes civiles. Le fait que l'OTAN commette sporadiquement des erreurs et touche effectivement des civils vient accréditer les affirmations des Talibans ⁽²⁴⁵⁾. En dépit des efforts notables de l'ISAF pour maîtriser sa communication et corriger les exagérations diffusées par les journalistes intoxiqués par les insurgés, les Talibans continuent de dominer dans la bataille pour l'exploitation médiatique des dommages collatéraux.

Ces effets sont cependant amplifiés par le développement continu des flux d'information en temps réel et la multiplication des moyens de communication. L'introduction depuis le milieu des années 2000 de nouveaux réseaux dits «sociaux», bénéficiant d'une interface interactive où l'utilisateur est également un producteur de contenu, n'a fait que renforcer le caractère viral de la diffusion de ces informations. Le «web 2.0» apparaît aujourd'hui comme une capacité politico-médiatique essentielle dans la neutralisation de l'efficacité de la force aérienne. Bien que la connexion haut débit à Internet et l'accès aux différents réseaux sociaux ne puissent bien sûr pas être considérés comme des capacités anti-aériennes, elles doivent néanmoins être incluses dans un tableau général des techniques pouvant contribuer à réduire l'efficacité de la puissance aérienne ⁽²⁴⁶⁾. Ainsi, durant la guerre de l'été 2006, l'action politico-médiatique du Hezbollah autour des destructions provoquées par l'armée de l'air israélienne est telle que l'opinion internationale – initialement hostile au Hezbollah, et ce même dans les pays arabes – fait finalement pression pour hâter la fin des combats, et contribue ainsi à l'échec des Israéliens ⁽²⁴⁷⁾.

(244) AIHRC, *Afghanistan Annual Report on Protection of Civilians in Armed Conflict 2011*, Kaboul, février 2012, p. 23-24.

(245) Exemple cité in Marc Hecker et Thomas Rid, «Stratégies et politiques de communication des belligérants non-étatiques», *Les thématiques du C2SD*, n° 21, p. 69.

(246) «Competing for media control in an age of asymmetric warfare», *Jane's Intelligence Review (online)*, 19 avril 2002.

(247) Cori E. Dauber, *YouTube War : Fighting in a World of Cameras in Every Cell Phone and Photoshop on Every Computer*, Carlisle, Strategic Studies Institute, p. 87.

Jusqu'à présent, les dommages collatéraux ont surtout fait l'objet d'une exploitation *a posteriori* par les adversaires irréguliers. L'étude des guerres récentes au Moyen-Orient et en Asie centrale semble cependant annoncer une possible systématisation de ce type de stratégie indirecte allant jusqu'à provoquer ou à simuler les situations permettant ce type d'exploitation. Le Hezbollah libanais paraît ainsi avoir installé l'immense majorité de ses infrastructures politiques et militaires au sein des populations civiles : il s'agit à la fois d'accroître leur survivabilité par des techniques de dissimulation mais également d'instrumentaliser des pertes en cas de frappe aérienne⁽²⁴⁸⁾. Si le caractère systématique de l'emploi de « boucliers humains » par le Hezbollah continue de faire débat⁽²⁴⁹⁾, il semble admis que cette technique se soit diffusée à d'autres théâtres comme l'Afghanistan⁽²⁵⁰⁾ ou encore la Libye⁽²⁵¹⁾. Il est possible d'envisager qu'à l'avenir les forces aériennes occidentales soient confrontées de plus en plus à ce type de pratiques qui mettent à mal le mythe d'une guerre aérienne « chirurgicale ».

En définitive, les capacités de contestations asymétriques de la puissance aérienne en mode défensif – à la portée d'acteurs irréguliers, hybrides mais également étatiques – doivent désormais être considérées comme un facteur persistant et potentiellement décisif de l'environnement stratégique d'aujourd'hui et plus encore de demain. Qu'il s'agisse de capacités défensives directes, telles que la diffusion de systèmes SATCP, ou de techniques indirectes de neutralisation des effets de la puissance aérienne, il est clair que les armées de l'air occidentales ne peuvent plus se permettre d'ignorer la problématique asymétrique, sous peine de se retrouver prises à leur propre piège, celui d'une conception étroitement techniciste de la guerre, qui ignore ces facteurs décisifs que sont les arbitrages budgétaires, éthiques et politiques.

CONCLUSION : ÉVALUER LE SPECTRE CAPACITAIRE DE LA MENACE

Tout au long de ces dernières pages ont été décrites les principales « briques » technico-opérationnelles susceptibles d'être mobilisées par les adversaires des forces occidentales à l'horizon 2030 pour bâtir des contre-stratégies intégrées, performantes et dynamiques. Si inquiétante que puisse sembler l'évolution de chacune de ces capacités de contestation, aucune de ces grandes catégories,

(248) Lambeth, *Air Operations in Israel's War Against Hezbollah*, *op. cit.*, p. 157-174.

(249) Sur ce point, voir deux études contradictoires : Human Rights Watch, *Why They Died Civilian Casualties in Lebanon during the 2006 War*, vol. 19, n° 5, septembre 2007 et Reuven Erlich, *Hezbollah's use of Lebanese civilians as human shields : the extensive military infrastructure positioned and hidden in populated areas. From within the Lebanese towns and villages deliberate rocket attacks were directed against civilian targets in Israel*, Tel Aviv, Intelligence and Terrorism Information Center, novembre 2006.

(250) AIHRC, *Afghanistan Annual Report on Protection of Civilians in Armed Conflict 2010*, Kaboul, mars 2011, p. 49.

(251) *Reuters US Online Report Top News*, « Gaddafi using human shields to curb air strikes NATO », avril 2011.

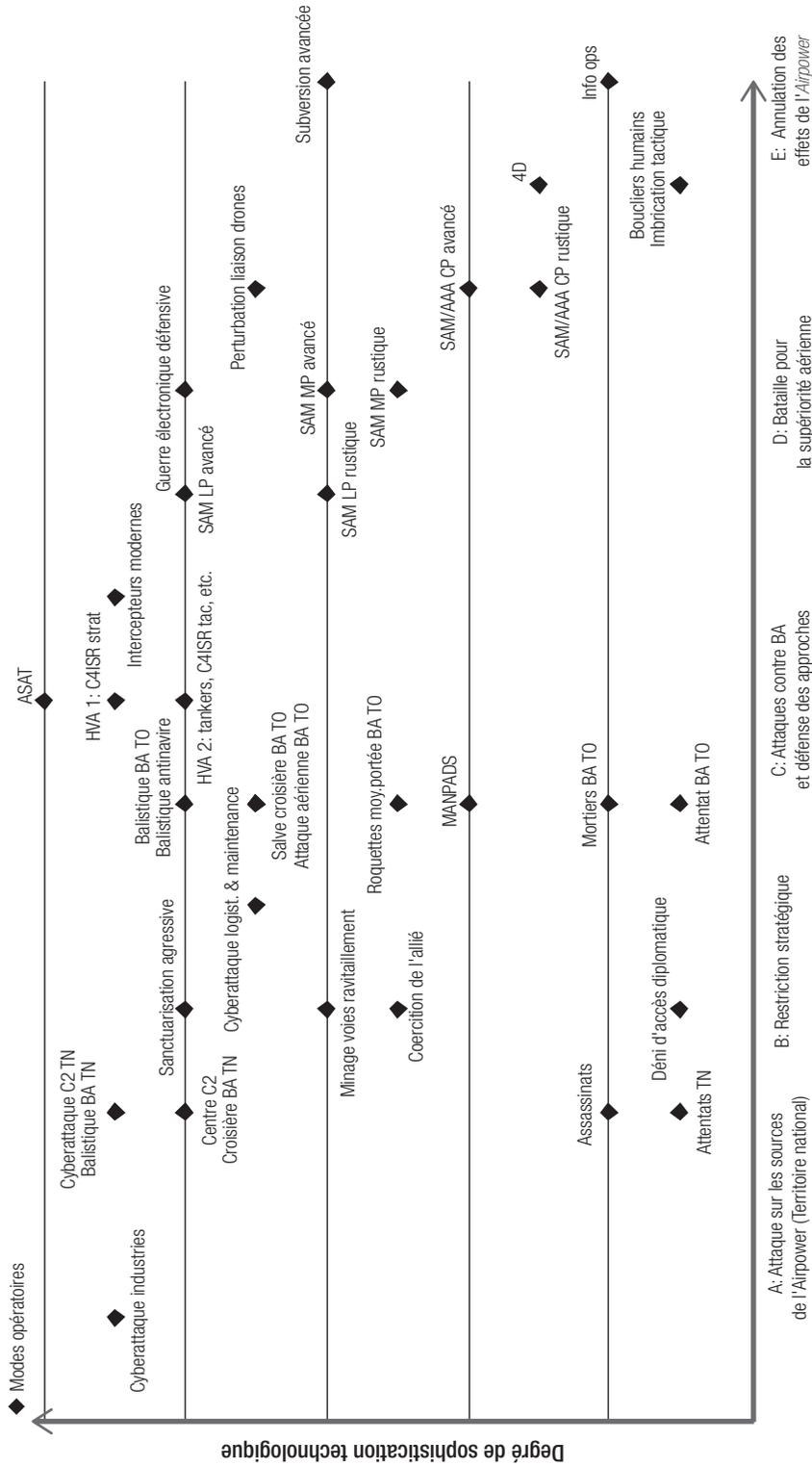
prise isolément, ne constituerait à elle seule un facteur suffisant pour faire basculer de manière déterminante l'équilibre attaque-défense. C'est l'accumulation de ces différentes capacités et leur combinaison dynamique dans le cadre d'une contre-stratégie performante qui représentent la véritable menace sur la supériorité aérienne occidentale.

Afin de formuler une stratégie efficace face à la puissance aérienne occidentale, un adversaire pourra mobiliser certains des modes opératoires exposés au préalable. Puisés dans des registres très divers, ces modes d'actions pourraient être mis au service de plans aux finalités et principes opérationnels variables. Le schéma présenté en infra a pour objectif de représenter graphiquement le spectre de la menace pesant sur les forces aériennes à partir des principaux modes opératoires déployés par l'adversaire. Avec en ordonnée un indice de sophistication technologique, le schéma prend comme axe principal (abscisse) la « progression opérationnelle », c'est-à-dire les grandes phases de déploiement de la puissance aérienne. Cette progression débute par une étape initiale de mobilisation des ressources de la puissance aérienne sur le territoire national (capacité industrielle, grandes bases, systèmes de commandement et de contrôle nationaux), suivie d'une phase de déploiement stratégique (voies de ravitaillement, accès politique aux zones à proximité du théâtre, bases avancées). S'ensuit la conquête de la supériorité aérienne au-dessus même du théâtre (face à la chasse d'interception ou à la défense sol-air) et, enfin, la gestion tactique et politique par l'adversaire des effets de la puissance aérienne. Sur la base de cette représentation graphique, il est ainsi possible de visualiser les différents modes opératoires qui s'inscrivent dans une phase spécifique ou dans un registre technologique précis, et qui peuvent être associés dans le cadre d'une contre-stratégie.

TYPOLOGIE DES CONTRE-STRATÉGIES AÉRIENNES

Si l'accumulation de capacités anti-aériennes constitue en elle-même une menace pour l'avenir de la supériorité des forces aériennes occidentales, elle ne saurait représenter de défi que si elle s'adosse à de véritables contre-stratégies aériennes intégrées et adaptables à un contexte politique donné. Ces contre-stratégies sont susceptibles d'être construites à partir des principaux blocs capacitaires exposés précédemment. Toutefois, elles ne sont pas nécessairement le produit d'une homogénéité technico-opérationnelle et pourraient même chercher à maximiser leurs effets par l'adoption de postures composites, c'est-à-dire constituées de couches intégrées et successives se renforçant réciproquement, superposant les enveloppes de menace et complexifiant à un niveau inédit la tâche des forces aériennes occidentales tentant d'opérer sur un théâtre. De fait, de telles contre-stratégies sont particulièrement efficaces lorsqu'elles s'inscrivent dans une approche « intégrale », articulant les moyens de supériorité aérienne à des couches de défenses sol-air de types variés, mais aussi, à un autre niveau, les dimensions tactique et stratégique, ou encore des attaques très en amont des efforts occidentaux et des efforts de neutralisation des effets des frappes des puissances interventionnistes.

MODES OPÉRATOIRES SELON LE TYPE DE CONTRE-STRATÉGIE



Progression opérationnelle

Les cinq types de contre-stratégies exposés ici sont conçus comme des idéaux-types⁽²⁵²⁾ : des modèles à valeur conceptuelle et disposant d'une homogénéité logique mais ne se retrouvant pas forcément sous leur forme pure dans la réalité. Bien au contraire, chaque type peut se voir décliné dans ses manifestations pratiques, selon le contexte politique international, les ressources accessibles aux acteurs, l'environnement géographique, les ambitions poursuivies, etc. Pour chacune de ces contre-stratégies, il convient d'analyser la logique de guerre (totale ou limitée) dans laquelle elle s'inscrit, ainsi que la posture générale sur laquelle elle s'appuie (offensive ou défensive, directe ou indirecte). Il importe également de s'interroger sur la stratégie aérienne à laquelle entend faire face (démonstration de force ou représailles, préparation d'invasion, interdiction de théâtre, appui aux forces terrestres, campagne de coercition, etc.) ainsi que sur la théorie de la victoire qui la guide (quel état final politique et militaire est recherché). Enfin, une attention particulière est accordée à l'attribution de modes d'action mobilisés pour y parvenir – eux-mêmes développés à partir des briques capacitaires précédemment détaillées⁽²⁵³⁾.

LA DÉFENSIVE PURE ET LA STRATÉGIE DU HÉRISSEMENT

La défensive pure est l'une des attitudes les plus naturellement développées par un acteur confronté à un adversaire manœuvrier et supérieur en force. À la manière du hérisson face à un prédateur, il s'agit pour le défenseur de « faire le dos rond », mettant en avant ses épines, jusqu'à ce que son adversaire renonce à l'attaquer. Appliquée au domaine aérien, la stratégie de la défensive pure s'apparente donc nettement à la guerre de siège, telle qu'elle a pu être pratiquée depuis l'Antiquité. Elle repose sur un réseau de « places fortes », minimisant les effets du feu adverse par le durcissement de ses infrastructures au moyen d'une défense passive adéquate, et tient à distance les attaques de l'adversaire par le biais d'un système de défense aérienne intégré (SDAI). Par définition, elle renonce à intervenir en amont de la progression opérationnelle et laisse par défaut indemnes les fondements de la puissance aérienne adverse.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ET THÉORIE DE LA VICTOIRE

Dans cette stratégie, la « victoire », c'est-à-dire l'effet final recherché (EFR), n'est autre que la conservation d'un *statu quo*, potentiellement nuisible aux intérêts de l'attaquant — ici les forces aériennes occidentales —, mais ne représentant en aucun cas une menace vitale pour ce dernier. L'asymétrie des intérêts se trouve donc au fondement de la théorie de la victoire par la défensive pure. Partant du principe que l'attaquant, bien que substantiellement supérieur, n'a que des intérêts limités en jeu, le défenseur se propose de jouer sur les deux principales raisons pour ce dernier de renoncer à son action : l'in vraisemblance de la victoire ou son coût (politique, humain, financier, etc.) trop élevé par rapport aux objectifs initiaux. Dans son traité fondamental sur la guerre,

(252) Max Weber, *Essai sur la théorie de la science*, (trad.) Julien Freund, Paris, Plon, 1965, p. 181 et suiv.

(253) Une représentation graphique de ces contre-stratégies est proposée dans l'annexe 1.

Carl von Clausewitz a parfaitement illustré les dynamiques à l'œuvre dans cette asymétrie des intérêts, elle-même à l'origine de la supériorité de la défensive :

« Il peut suffire parfois d'une probabilité d'insuccès légère, peut-être à peine perceptible, pour décider un camp à abandonner la partie si ses motifs d'agir et les tensions qui l'animent sont de faible intensité. [...] Le bilan de l'énergie déjà dépensée et de celle qui reste à dépenser pèse d'un poids encore supérieur dans la décision de faire la paix. La guerre n'étant pas commise par passion aveugle, mais contrôlée par son objectif politique, c'est la valeur attribuée à ce dernier qui détermine l'ampleur des sacrifices requis pour sa réalisation. Cela vaut non seulement pour son ampleur mais également pour sa durée. Dès que la dépense d'énergie passe le seuil où elle n'est plus équilibrée par la valeur de l'objectif politique il faut y mettre un terme [...] ⁽²⁵⁴⁾ ».

Il s'agit donc pour le défenseur de durer et d'accroître les coûts pour l'attaquant, jusqu'à ce que ce dernier les juge supérieurs à l'intérêt d'une victoire. Le principe directeur de la stratégie défensive pure est *l'usure*, définie comme « l'épuisement progressif des forces physiques et de la volonté causé par la durée de l'action ». Or, comme l'explique Clausewitz, « si nous voulons durer plus longtemps que l'adversaire dans le conflit, nous devons nous contenter d'objectifs modestes » ⁽²⁵⁵⁾. Cette modestie s'exprime naturellement dans la définition du *statu quo* que le défenseur cherche à maintenir.

Le contexte le plus évident de l'emploi de la défensive pure est celui d'une agression aérienne non directement provoquée : prélude à une conquête territoriale ou à une campagne de changement de régime. Dans cette perspective, le *statu quo* n'est rien d'autre que l'autodéfense, c'est-à-dire la survie de l'État et du régime politique en tant que tel. Dans une telle perspective, qui n'est pas sans rappeler celle de l'opération *Iraqi Freedom* en 2003, l'attaque aérienne n'est qu'un prélude à une invasion terrestre. Le défenseur doit alors tout faire pour maintenir ses capacités de défense active, dès lors qu'il sait que les forces adverses ne s'engageront pas avant de s'être assurées de la maîtrise du ciel.

La stratégie de la défensive pure s'applique également à un contexte de coercition aérienne visant à revenir sur une politique de fait accompli dans le cas où le *statu quo* ainsi défendu aurait récemment été modifié, vraisemblablement par une agression préalable. L'annexion du Koweït par l'Irak de Saddam Hussein en 1991 ou encore le maintien du Kosovo dans la Fédération yougoslave constituent des exemples historiques reconductibles et qui peuvent également donner lieu à une stratégie de défensive pure. Le défenseur peut alors renforcer ses défenses passives, afin de démontrer à l'attaquant qu'il peut endurer ses frappes.

(254) Clausewitz, *De la Guerre*, op. cit., p. 63.

(255) *Ibidem*, p. 65.

MODES OPÉRATOIRES

Afin de mettre en pratique une telle stratégie, le défenseur se doit donc de jouer sur les deux causes majeures de succès de la défensive mises en avant par Clausewitz : l'in vraisemblance de la victoire et son coût trop élevé.

L'INVRAISEMBLANCE DE LA VICTOIRE

Afin de rendre la victoire aérienne la moins vraisemblable possible, la stratégie de la défensive pure se doit d'agir de manière à la fois active et passive. Par le biais d'une défense active (SDAI), il faut rendre le plus difficile possible l'action de l'adversaire, en l'obligeant sans cesse à combattre pour maîtriser l'environnement, augmentant ainsi les ressources allouées aux missions SEAD par rapport à celles dédiées aux frappes stratégiques. Parallèlement, par le biais d'une défense passive, il s'agit de réduire au maximum les effets des frappes aériennes stratégiques, en renforçant la survivabilité des infrastructures critiques et en démontrant à l'adversaire qu'il est vain d'espérer le faire plier.

Un SDAI performant mais dégradable. Le SDAI est assurément le dispositif central dans une stratégie défensive pure. En fonction des cas, ce dernier peut être extrêmement avancé, disposant d'un système terrestre et potentiellement aérien d'alerte avancée performant (radars transhorizon, système de radars passifs, radars AESA), d'une chasse d'interception de dernière génération (T-50, J-20, etc.), de systèmes SAM mobiles longue portée (S-300 PMU, S-400, HQ-9/FT-2000) mais également d'une gamme de systèmes sol-air moyenne et courte portées capable d'assurer la défense des systèmes stratégiques et de couvrir la basse couche. L'intégration d'un tel système implique assurément des moyens C4ISR importants — notamment un système IFF résistant au brouillage, mais également un savoir-faire reposant sur un entraînement intensif. L'infériorité technique de la flotte d'intercepteurs face aux appareils occidentaux n'empêche pas le défenseur de mettre au point des manœuvres aéroterrestres permettant de «mettre en forme» le champ de bataille, *via* par exemple l'utilisation de «pièges aériens» dans lesquels les chasseurs adverses seraient attirés au-dessus de batteries SAM dissimulées.

Le SDAI doit également être dégradable en fonction des moyens mis en œuvre par l'adversaire. La destruction de la flotte d'interception par la chasse adverse, ainsi que la perte des systèmes sol-air longue portée suite à l'emploi d'appareils furtifs ou de tirs de missiles de croisière ne doit pas empêcher la mise sur pied d'une «menace fantôme», reposant essentiellement sur des systèmes SAM à courte et moyenne portées, modernes et extrêmement mobiles, entraînés à la dissimulation et intégrés par des moyens résilients et potentiellement rustiques.

Une défense passive intégrale. La défense passive permet de limiter ses propres pertes pour maximiser la durée de l'opération. Celle-ci doit être préparée dans la longue durée. Plus elle a été préparée à l'avance et plus elle sera efficace. Elle joue sur quatre modes opératoires différents. Le premier est le durcissement des infrastructures critiques, de manière à limiter l'effet des bombardements (centres de commandement et de contrôle, stocks de munitions et

lieux de production, etc.). Le second est la dissimulation, afin de compliquer le travail des moyens ISTAR de l'adversaire (enterrement des lignes de communication, camouflage des batteries SAM, etc.). Le troisième est la dispersion des ressources (matériels, équipages, populations, garnisons, nourriture), de manière à les rendre invulnérables à une frappe unique. Enfin le dernier est la déception, c'est-à-dire l'intoxication de l'adversaire en simulant la présence de dispositifs anti-aériens *via* des leurres et autres maquettes.

LE COÛT TROP ÉLEVÉ DE LA VICTOIRE

L'asymétrie des politiques initiales implique que le coût de la victoire doit être proportionnel à l'intérêt poursuivi. L'accroissement des capacités occidentales doit donc être mis en perspective des contraintes sans cesse plus grandes qui pèsent sur ces interventions militaires. L'adversaire adoptant une stratégie de défensive pure doit être capable de jouer sur ces contraintes.

Coût matériel et humain. La réduction considérable des flottes occidentales à l'horizon 2030 rendra nécessairement les forces aériennes plus sensibles à la problématique de l'attrition. L'intensité sans cesse plus grande en capital (physique mais également humain) est une dynamique associée à la précédente, et qui renforce encore l'aversion au risque de perte des appareils et des pilotes. Le défenseur devra clairement en être conscient et ne pas hésiter à recourir à tous ses moyens de défense active (intercepteurs, batteries SAM ou AAA) pour maximiser le nombre de pertes de l'adversaire. En égard à la dimension symbolique associée aux pertes, des pièges aériens peuvent être mis en place, destinés spécifiquement à la destruction de plateformes là où d'autres tactiques se seraient contentées de les repousser. La capture des pilotes abattus peut également peser dans d'éventuelles négociations en vue d'un règlement du conflit.

Coût politique et moral. Dans la mesure où les intérêts en jeu sont limités, l'histoire semble démontrer qu'il arrive généralement un moment où les populations des démocraties libérales préfèrent «perdre la guerre que perdre leur âme»⁽²⁵⁶⁾. L'exploitation des dommages collatéraux et des pertes civiles afin de délégitimer le conflit aux yeux de l'opinion publique nationale et internationale apparaît donc comme un outil politico-stratégique de premier ordre pour qui est confronté à une démocratie libérale. Le recours actif à des techniques de boucliers humains permettrait potentiellement de maximiser ce type de dommage tout en planifiant mieux leur exploitation médiatique — cependant, elles peuvent également avoir un effet contre-productif et se retourner contre le défenseur si d'aventure elles sont révélées.

Cette «manœuvre intérieure» peut s'accompagner d'une «manœuvre extérieure» visant à rallier la communauté internationale à l'encontre de l'attaquant par le biais d'une action diplomatique bilatérale et multilatérale. Si la condamnation juridique de l'attaquant par l'Organisation des Nations unies n'a pas nécessairement

(256) Gil Merom, *How democracies lose small wars : state, society, and the failures of France in Algeria, Israel in Lebanon, and the United States in Vietnam*, Cambridge, New York, Cambridge University Press, 2003.

d'impact immédiat sur la poursuite des opérations, elle contribue clairement à l'accroissement des coûts politiques dans un contexte d'intérêts limités.

TABLEAU 4 : STRATÉGIE DE DÉFENSIVE PURE : MODES OPÉRATOIRES

Modes d'action	Effets recherchés
Défense active	
Faire des raids air-air anti-HVAA (pendant les opérations, ou dès leur arrivée sur le théâtre)	Désorganiser la couverture aérienne, réduire l'allonge des forces aériennes occidentales
Se protéger derrière un SDAI longue portée Maintenir un SDAI mobile moyenne portée en mode dégradé	Augmenter le risque de pertes ou l'allonge nécessaire aux forces aériennes occidentales pour agir à distance de sécurité
Défense passive	
Durcissement : états-majors, stocks de munition... Dissimulation : batteries SAM, sites de production critiques, forces terrestres Dispersion : populations, troupes terrestres	Annuler les effets des frappes aériennes tactiques et stratégiques sur les infrastructures critiques (civiles et militaires) Limiter les pertes du défenseur, accroître sa survivabilité et ses chances de durer
Déception : diffusion de leurres simulant des défenses sol-air et des radars de détection	Essouffler l'adversaire en l'obligeant à multiplier les missions SEAD et à consacrer une part de ses ressources à sa propre défense
Guerre de l'information	
Exploitation médiatique de dommages collatéraux Utilisation de boucliers humains	Attaquer la légitimité morale de l'attaquant en mettant en scène les conséquences humanitaires des frappes
Offensive diplomatique contre la puissance attaquante : – bilatérale : dissociation diplomatique et condamnation des frappes – multilatérale : lobbying dans les instances des Nations unies pour la cessation des hostilités	Attaquer la légitimité politique et légale de l'attaquant en suscitant la condamnation par ses pairs ainsi que par les instances internationales

LIMITES ET FAIBLESSES

La limite principale de la stratégie de la défensive pure est précisément son caractère purement négatif. L'absence totale d'offensive à l'échelle du théâtre d'opération ne lui permet pas, même lorsqu'elle est mise en œuvre sans erreur, d'obtenir avec certitude la décision, car seule l'érosion de la volonté de l'adversaire peut mettre fin au conflit. Deux types de débordements sont donc possibles.

Le risque de la passivité. « Endurer n'est plus combattre » et la faiblesse de la stratégie de défensive pure tient à ce qu'elle dépend de la volonté adverse. Une stratégie trop axée sur les défenses passives par peur de risquer les moyens de défense active réduit largement les chances de succès. Si l'adversaire dispose d'une volonté suffisante pour pousser la guerre plus avant, son incapacité à triompher par les airs pourrait justifier une intervention navale — à la manière de la guerre sous-marine de 1941 suite à l'échec de la bataille d'Angleterre — voire, dans certaines configurations géographiques, une intervention terrestre. S'ils ne sont pas complétés par des formes militaires plus classiques, les moyens de la stratégie défensive pure sont en effet tellement spécifiques, qu'ils sont mal configurés pour faire face à une invasion amphibie ou à un blocus maritime.

Le risque de l'escalade. Pour Clausewitz, la défensive pure semble une aberration stratégique, dès lors que la parade n'est pas conçue comme la première phase d'une riposte. Pourtant, la défensive pure doit se garder de pousser trop avant les facteurs de son succès. Ainsi des attaques préemptives, trop éloignées du théâtre d'opérations, peuvent-elles changer la donne politique et la perception des intérêts en jeu par la puissance attaquante. C'est bien l'incident du Golfe du Tonkin qui légitima la décision du Président Lyndon Johnson d'intervenir beaucoup plus massivement au Vietnam, alors que le but recherché par le Nord-Vietnam était précisément de mettre en garde les États-Unis contre de telles incursions.

STRATÉGIE DE DÉNI D'ACCÈS

Une stratégie de déni d'accès est une stratégie défensive qui vise, par des moyens militaires issus de toutes les armées, combinés à des actions politiques, à empêcher, à perturber ou décourager une opération de projection de forces. Les puissances occidentales sont des puissances expéditionnaires depuis le xv^e siècle, mais il faut attendre la fin de la guerre froide pour que le recours à une stratégie principalement fondée sur l'interdiction devienne une préoccupation centrale des appareils de défense occidentaux – États-Unis dès la fin des années 1990, Européens plus tardivement. Intrinsèquement liée aux développements étant à l'origine du débat sur la «révolution dans les affaires militaires», une stratégie de déni d'accès s'appuie sur les progrès accomplis en termes d'allonge des capacités d'action de l'adversaire. Le déni d'accès ne constitue pas une stratégie visant à contrer uniquement les opérations aérospatiales occidentales, puisqu'il comporte traditionnellement une dimension navale très forte. Dans le présent cadre, c'est néanmoins cette dimension qui est analysée.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ET THÉORIE DE LA VICTOIRE

Le déni d'accès est une stratégie à vocation défensive. Elle est adoptée par un acteur anticipant un conflit l'opposant à une ou plusieurs puissances expéditionnaires. Confronté à la perspective d'une guerre à venir, le défenseur choisit d'interférer avec la mise en place de l'opération de projection afin d'empêcher ou de compliquer l'arrivée des forces adverses sur le théâtre d'opérations. Ce faisant, il peut espérer décourager une intervention ou la ralentir suffisamment afin de pouvoir placer l'Occident devant un fait accompli et changer le *statu quo* régional. Bien que les stratégies fondées sur l'interdiction ne datent nullement de l'après-guerre froide, l'idée d'une stratégie reposant sur le principe du déni d'accès apparaît aux États-Unis en réaction à la guerre du Golfe, et résulte du constat suivant : si l'Occident peut se déployer librement sur un théâtre extérieur, une résistance conventionnelle est condamnée à l'échec. À l'inverse, la lenteur et la lourdeur de la mise en place de *Desert Shield* et *Desert Storm* laissent apparaître de nombreuses options potentiellement accessibles à un acteur moins passif que l'Irak.

Le déni d'accès est une stratégie intégrant fortement éléments politiques et militaires, et peut remplir une fonction à la fois dissuasive et défensive. Un adversaire peut poser les bases diplomatiques d'une stratégie de déni d'accès des

mois, voire des années avant le déclenchement d'un conflit, tentant tout d'abord de «fermer» une région en décourageant toute opération. La mise en œuvre effective, néanmoins, débute dans les jours ou semaines précédant l'opération.

L'une des premières caractéristiques du déni d'accès comme stratégie consiste ainsi à restreindre le champ des possibles pour les puissances expéditionnaires. Ceci peut être accompli en s'appuyant sur la géographie de l'acteur (enclavement, littoral, etc.) et sur son environnement politique direct. Si l'on excepte le cas des États-Unis, les groupes aéronavals sont incapables de générer à eux seuls les sorties nécessaires à une opération de grande envergure. La composante aérienne d'une opération de projection implique donc : 1) l'accès à des bases aériennes de théâtre situées à proximité de l'adversaire et ; 2) l'obtention de droits de survol des pays voisins. Un adversaire peut ainsi tenter de limiter le nombre de pays acceptant d'être les hôtes de forces aériennes occidentales, ou laissant ces dernières survoler son territoire, par des initiatives de rapprochement diplomatique, voire de gesticulation diplomatico-militaire à des fins de chantage⁽²⁵⁷⁾.

Plus l'adversaire en posture défensive sera convaincu que l'opération qui s'annonce ne met en cause ses intérêts que de manière marginale, plus il se cantonnera à des initiatives diplomatiques et à l'envoi de signaux, et évitera d'employer effectivement la force. À l'inverse, plus il estimera que les ambitions des pays occidentaux sont grandes et par exemple mettent en danger le régime, plus il sera susceptible de franchir des étapes de l'escalade pouvant l'amener à recourir à des moyens extrêmes.

Le rejet de la passivité conduit à concevoir une stratégie d'interdiction incarnant parfaitement la vision clausewitzienne de la forme défensive de guerre, celle d'un «bouclier formé de coups habilement donnés»⁽²⁵⁸⁾. Les «coups habilement donnés» d'une stratégie de déni d'accès ont ceci en commun qu'ils portent sur un segment considéré comme faible des opérations militaires occidentales, entre le territoire national et le théâtre d'opération. Bien qu'elle soit improbable à un horizon proche, une stratégie de déni d'accès peut également être mise en œuvre par un adversaire situé suffisamment près du territoire national pour qu'il puisse viser celui-ci au lieu de viser uniquement les bases aériennes régionales.

Une posture de déni d'accès peut parfois chercher à atteindre la décision par une accumulation de «coups» portés à l'adversaire, mais puisqu'elle cherche avant tout à déstabiliser une opération complexe, elle s'inscrit de préférence dans une stratégie directe d'approche indirecte. Elle entend canaliser

(257) La question politique de l'accès (survol, utilisation des bases) peut être exploitée par un adversaire mais ne se réduit pas à cela : les problèmes rencontrés par le passé (Arabie Saoudite après la guerre du Golfe, Turquie en 2003, etc.) reflètent avant tout des logiques nationales propres (refus assumé de s'aligner avec l'Occident, crainte d'une déstabilisation interne et d'une vulnérabilisation du régime, etc.). Sur la dimension politique de l'accès, voir Corentin Brustlein, «Vers la fin de la projection de forces ? II. Parades opérationnelles et perspectives politiques», *Focus stratégique*, n° 21, mai 2010, p. 25-34.

(258) Clausewitz, *De la guerre*, op. cit., p. 399.

les modes d’actions des pays occidentaux, restreindre leur liberté d’action en rendant impossible l’utilisation de bases aériennes régionales, et privilégie les attaques parvenant à des effets systémiques sur le dispositif de projection.

MODES OPÉRATOIRES

Ces modes opératoires diplomatiques et militaires exploitent les éléments suivants :

- la dépendance des forces de projection à l’égard de systèmes peu nombreux (HVAA);
- la relative prévisibilité des approches du territoire et des séquences de déploiement;
- l’asymétrie des enjeux en défaveur des pays occidentaux, qui rend ces derniers moins à même de prendre des risques et d’encaisser des pertes significatives;
- le caractère divisé des pays voisins face à un alignement possible avec l’Occident;
- la difficulté pour les puissances expéditionnaires de contrôler parfaitement l’environnement immédiat des bases en territoire étranger.

Le tableau 5 regroupe les différents modes opératoires envisageables dans le cadre d’une stratégie de déni d’accès et précise les effets correspondant à chaque action.

TABLEAU 5 : STRATÉGIE DE DÉNI D’ACCÈS : MODES OPÉRATOIRES

Modes d'action	Effets recherchés
Actions diplomatico-militaires	
Chantage à l’égard des pays hôtes potentiels, adossé à des manœuvres d’intimidation ou exercices impliquant : 1) des moyens de frappe ; 2) des groupes irréguliers sur le territoire des pays voisins ; 3) des opérations d’information	Empêcher la formation d’une coalition, faire éclater une coalition
Interdiction dissuasive	
Minage des passages resserrés	Ralentir voire empêcher le déploiement d’un groupe aéronaval ou l’approvisionnement des bases de théâtre par voie maritime (voie la moins coûteuse)
Attaques sur les bases aériennes de théâtre	
Pollution avec moyens CBRN persistants	Empêcher durablement l’utilisation d’une base, faire éclater une coalition
Attaque d’éléments non durcis (réservoirs, radars, appareils à découvert) en utilisant des (G) RAMM, raids, drones	Imposer des coûts aux forces aériennes occidentales
Attaque massive avec des moyens de frappe à distance (missiles balistiques ou de croisière, missiles à sous-munitions, etc.)	Imposer des coûts aux forces aériennes occidentales, neutraliser les infrastructures aériennes au cœur du dispositif de projection occidental
Attaque des bases accueillant les HVAA : – par des vecteurs de frappe à distance (HVAA ne peuvent être protégés dans des hangars durcis) – par des groupes paramilitaires, attaques combinées aux (G) RAMM et SATCP aux abords des pistes	Désorganiser profondément la force aérienne occidentale

Attaques cybernétiques	
Cible : systèmes d'information logistiques	Ralentir la mise en place du dispositif aérien de projection
Cible : CAOC ou CDAOA	Désorganiser la conduite des opérations
Cible : systèmes de surveillance des bases de théâtre	Affaiblir la sécurité des bases pour faciliter une attaque (vol de données, neutralisation des systèmes de détection, etc.)
Défense active élargie	
Se protéger derrière un SDAI longue portée	Augmenter le risque de pertes ou l'allonge nécessaire aux forces aériennes occidentales pour agir à distance de sécurité
Faire des raids air-air anti-HVAA (pendant les opérations, ou dès leur arrivée sur le théâtre)	Désorganiser la couverture aérienne, réduire l'allonge des forces aériennes occidentales
Attaques d'interdiction sur le groupe aéronaval (missiles antinavires, missiles balistiques antinavires, vedettes suicides, etc.)	Éliminer un élément critique du dispositif de projection, porter un coup psychologique
Attaques cinétiques ou non-cinétiques sur certains satellites critiques pour l'action à longue portée	Désorganiser le recueil du renseignement, voire l'empêcher dans certaines zones, affaiblir la couverture ISR longue portée, gêner certaines communications satellites, réduire l'efficacité du ciblage

LIMITES ET FAIBLESSES

S'il est vrai que certains aspects d'une stratégie de déni d'accès sont *a priori* extrêmement complexes ou onéreux (moyens air-air d'attaque des HVAA, cyberattaque contre le CAOC, missile balistique antinavire à guidage terminal, etc.), cette stratégie offre de nombreuses options relativement accessibles (moyens de frappe rustique, chantage politique, action de groupes irréguliers, etc.). Pour être réellement efficace, une stratégie de déni d'accès doit néanmoins à la fois contrer la montée en puissance des dispositifs aérien (le plus réactif et le plus menaçant), naval (le plus massif et le seul permettant le déploiement de moyens lourds) et terrestre (le seul à même de permettre un changement de régime). Les arbitrages à opérer entre ces lignes d'opération parallèles seraient nécessairement difficiles.

Par-delà ce problème, propre à toute stratégie interarmées, le principal défaut d'une stratégie de déni d'accès semble être sa tendance naturelle à l'escalade. En optant pour une attitude défensive active refusant de céder totalement l'initiative à l'Occident, le pays adoptant une posture de déni d'accès doit lui-même faire preuve de retenue dans ses modes opératoires. Redoutable lorsqu'elle intègre bien et en amont les dimensions politiques et militaires de la guerre, et lorsqu'elle se traduit par un emploi de la force subtilement discriminé, une posture de déni d'accès peut rapidement entraîner l'escalade si elle est mise en œuvre trop tôt, ou, à l'inverse, être trop faible si elle est initiée trop tardivement. Tandis que les puissances interventionnistes peuvent mettre en avant le fait que leur opération de projection a une finalité dissuasive, initier les hostilités avant même leur entrée sur le théâtre peut aboutir à l'effet paradoxal de renforcer la détermination et la légitimité de l'Occident, et d'aliéner totalement les pays voisins.

STRATÉGIE DE RÉSISTANCE RUSTIQUE GLOBALE

Une stratégie de résistance rustique globale est spécifiquement développée par des adversaires irréguliers et, dans une moindre mesure, hybrides. Un adversaire étatique en position d'extrême faiblesse peut également recourir à ce type de dispositif, dans la mesure où il accepte de renoncer à maintenir un semblant de souveraineté aérienne. En l'absence de moyens aériens significatifs et de capacités sol-air longue portée, les groupes combattants non-étatiques peuvent néanmoins se reposer sur des capacités de contestation terrestre de la puissance aérienne. Cette contestation est par définition une réponse du faible au fort, et cherche à jouer pleinement sur les asymétries morales, politiques, stratégiques et tactiques associées à un contexte de guerre limitée – dans la perspective de la puissance interventionniste. Elle s'appuie également sur le décroisement des théâtres, utilisant l'irrégularité pour mener des missions clandestines destinées à porter la guerre sur le territoire même de l'État interventionniste, de manière à accroître les coûts de ses opérations.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ET THÉORIE DE LA VICTOIRE

À la manière de la défensive pure, mais avec des moyens bien inférieurs, la stratégie de résistance rustique globale (ci-après « R2G ») joue pleinement sur l'asymétrie des intérêts entre l'adversaire occidental et le combattant irrégulier cherchant à s'emparer du pouvoir localement ou à réaliser une sécession territoriale. Cette asymétrie des intérêts renforce l'aversion au risque humain et politique des forces occidentales (cf. « La défensive pure et la stratégie du hérisson » *supra*). Elle ne permet pas une victoire éclatante, mais recherche pour l'essentiel un objectif purement négatif : la cessation des opérations aériennes. Cette stratégie s'inscrit généralement dans un conflit politique et militaire local entre une entité légitime — que la puissance occidentale cherche à soutenir — et un groupe rebelle (cette situation peut également être inversée comme dans le cas de l'opération *Harmattan* en Libye en 2011).

À la manière des guérillas habituelles, la victoire pour le défenseur s'assimile donc à l'absence de défaite, tandis que l'absence de victoire s'assimile plus ou moins vite à la défaite pour l'État interventionniste. Pour autant, la stratégie de R2G n'est pas strictement passive et cherche à hâter le retrait de la puissance occidentale dans le cadre d'une « manœuvre par la lassitude »⁽²⁵⁹⁾ plus ou moins agressive. Face à des forces aériennes dont l'utilité stratégique dans ce type de conflit repose en partie sur une immunité présumée de par leur engagement à distance de sécurité contre des adversaires dépourvus de moyens longue portée, ces derniers s'évertuent à attaquer les forces aériennes là où elles sont les plus vulnérables : en amont et en aval de leur mission de combat. Par la maximisation des pertes, l'évitement tactique et la manœuvre indirecte, extérieure comme intérieure, un adversaire adoptant une telle stratégie permet de niveler le différentiel de puissance et de réduire considérablement les effets de la suprématie aérienne.

(259) Beaufre, *Introduction à la stratégie*, op. cit., p. 128.

MODES OPÉRATOIRES

En dépit de ses moyens matériels et financiers limités, l'acteur adoptant une stratégie de résistance rustique globale peut jouer sur un grand nombre de modes opératoires qui s'échelonnent sur la totalité de la progression opérationnelle de la puissance aérienne, tout en maintenant un degré de sophistication technologique réduit.

Décloisonnement des théâtres. La stratégie R2G se distingue des guérillas et insurrections habituelles par son décloisonnement des théâtres : jouant sur la facilité de circulation des biens et des personnes — ainsi que sur la présence potentielle de diasporas sur le territoire national de l'État interventionniste —, elle n'hésite pas à recourir à des campagnes de subversion et de terreur, en s'attaquant aux sources mêmes de la puissance aérienne, par des attentats contre des personnalités politiques, le haut commandement, des bases importantes de l'armée de l'air, mais également en influençant la population et le débat par des campagnes de propagande. Portant la guerre chez l'adversaire, cette stratégie permet ainsi de rompre l'asymétrie et d'obliger la puissance interventionniste à considérer des solutions radicales : l'engrenage ou le retrait. La tentative d'attentat du groupe pakistanais *Tehrik-e-Taiba Pakistan* le 1^{er} mai 2010 à New York, suite à la campagne aérienne de frappe sur les zones tribales, est un exemple de ce type de décloisonnement des théâtres.

Menaces sur les bases. Sur le théâtre d'opération, les bases aériennes avancées sont les cibles principales des actions en amont : bénéficiant de l'avantage du terrain, et surtout de complicités potentielles au sein des forces de sécurité du pays hôte, l'adversaire peut mener des attaques meurtrières sur les forces aériennes, alors que celles-ci sont au sol et ne bénéficient pas nécessairement de mesures de sécurité optimales. Il s'agit tant de maximiser les pertes de l'adversaire que de créer un climat de harcèlement et de méfiance, le poussant à une logique de bunkérisation (à l'instar de l'Afghanistan après 2009) ou au contraire à une implication de plus en plus grande dans les opérations terrestres (comme au Vietnam après 1965).

Contestation en basse couche. Incapable de contester la suprématie aérienne en haute altitude, un adversaire affaibli adoptant la stratégie de R2G peut néanmoins restreindre considérablement l'emploi de la basse couche aux hélicoptères et aux missions d'appui aérien rapproché par l'utilisation systématique de missiles SATCP de nouvelle génération. L'extrême mobilité de ces systèmes permet de faire peser une « menace en puissance » généralisée sur les forces aériennes.

Défense passive et exploitation politico-stratégique. Par des tactiques irrégulières contribuant à la dissimulation des combattants au sein des populations civiles comme à l'imbrication tactique entre les combattants amis et ennemis, par la dématérialisation de réseaux de commandement et de communication ou l'utilisation de sanctuaires internationaux, les acteurs de la stratégie R2G contribuent à délégitimer la puissance interventionniste et ainsi à accroître le coût politique du conflit, de sorte que l'asymétrie des volontés jouant, celle-ci finisse par abandonner les frappes et lâcher prise.

Le tableau 6 regroupe les différents modes opératoires envisageables dans le cadre d'une stratégie de résistance rustique globale et précise les effets correspondant à chaque action.

TABLEAU 6 : STRATÉGIE DE RÉSISTANCE RUSTIQUE GLOBALE : MODES OPÉRATOIRES

Modes d'action	Effets recherchés
Attaques sur le territoire national	
Attentats sur les bases aériennes et assassinats ciblés (ex : haut commandement, pilotes)	Empêcher la formation d'une coalition, faire éclater une coalition, affaiblir l'efficacité offensive occidentale
Mancœuvre indirecte extérieure	
Établissement de bases dans un pays tiers – juridiquement inaccessible	Sanctuariser des bases logistiques pour la guérilla ; pousser l'État interventionniste à violer la souveraineté nationale du pays tiers
Pression diplomatique sur des États alliés <i>via</i> des campagnes de subversion ou de terrorisme	Isoler l'État interventionniste
Attaques sur les bases aériennes de théâtre	
Attentat « red-on-blue » et « green-on-blue » sur les bases aériennes de théâtre	Empêcher durablement l'utilisation d'une base ; susciter la méfiance entre l'intervenant et la nation hôte
Attaque d'éléments non-durcis (réservoirs, radars, appareils à découvert) par des tirs de (G) RAMM, raids de guérillas Tirs de moyens SATCP et positionnement de mines anti-aériennes aux abords des pistes	Désorganiser les forces aériennes occidentales et leur imposer des coûts
Défense active	
Utilisation de moyens SATCP de nouvelle génération (ex : SA-16, SA-18, SA-24), à faible signature, mobiles et intégrés par des moyens rustiques.	Faire peser une « menace en puissance » permanente sur la basse couche et réduire ainsi l'efficacité de la puissance aérienne (notamment des missions d'appui rapproché)
Défense passive	
Dissimulation : stocks de munitions, colonnes de guérillas, utilisation du théâtre urbain, etc.	Annuler les effets des frappes aériennes tactiques et stratégiques sur les infrastructures critiques (civiles et militaires)
Dispersion : populations, dépôts logistiques, etc.	Limiter les pertes du défenseur, accroître sa survivabilité et ses chances de durer
Déception : diffusion de leurres simulant des défenses sol-air et des radars de détection.	Essouffler l'adversaire en l'obligeant à multiplier les missions SEAD et à consacrer une part de ses ressources à sa propre défense
Imbrication tactique (si présence de forces terrestres amies)	Invalider l'avantage occidental en termes d'appui aérien rapproché
Guerre de l'information	
Exploitation médiatique de dommages collatéraux Utilisation de boucliers humains	Attaquer la légitimité morale de l'attaquant en mettant en scène les conséquences humanitaires des frappes
Offensive diplomatique contre la puissance attaquante : – bilatérale : dissociation diplomatique et condamnation des frappes ; – multilatérale : lobbying dans les instances des Nations unies pour la cessation des hostilités	Attaquer la légitimité politique et légale de l'attaquant en suscitant la condamnation par ses pairs ainsi que par les instances internationales

LIMITES ET FAIBLESSES

Le caractère offensif global de cette stratégie est une force tout autant qu'une faiblesse : en portant la guerre chez l'adversaire en dépit de l'extraordinaire différentiel de puissance, le combattant irrégulier prend également le risque de l'escalade et de la condamnation publique internationale qui peut lui fermer les portes de la légitimité politique qu'il cherche à obtenir.

De même, la manipulation de l'opinion publique internationale peut s'avérer un jeu dangereux et à double tranchant s'il n'est pas parfaitement maîtrisé. Les techniques de boucliers humains ou les mises en scène de dommages collatéraux, si elles sont révélées aux populations ou aux médias, peuvent vite consolider l'argumentaire de l'adversaire et délégitimer la cause de la rébellion.

Enfin, à la manière de la stratégie de défensive pure, la stratégie de résistance rustique permet de durer et d'endurer mais pas d'imposer la décision. C'est une stratégie de l'attente qui dépend fortement de l'attitude de l'adversaire, de la communauté internationale et des alliés – dont le soutien réel et continu d'un pays tiers, capable d'offrir un sanctuaire durable et si possible défendu par des moyens dissuasifs, de fournir des financements, des soutiens logistiques et surtout un appui politique.

STRATÉGIE DE DÉSANCTUARISATION

La stratégie de désanctuarisation porte l'affrontement sur le territoire des pays occidentaux. Par certains aspects, elle ne diffère pas totalement de la stratégie de déni d'accès, au sens où elle refuse de céder l'initiative à l'Occident et décide de prendre les devants face à lui. Se plaçant dans la perspective d'un affrontement inévitable impliquant des intérêts majeurs de part et d'autre, cette stratégie accepte le risque d'escalade mais tente de le contrôler par le choix de ses modes d'action.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ET THÉORIE DE LA VICTOIRE

Comme le déni d'accès, la stratégie de désanctuarisation refuse une trop grande passivité face aux opérations de projection et veut agir en amont de la montée en puissance des forces occidentales sur le théâtre. Elle opère néanmoins *plus en amont* que le déni d'accès. Ainsi, contrairement à cette dernière posture, la stratégie de désanctuarisation ne peut-elle être qualifiée de défensive : elle s'inscrit clairement dans un mode offensif de guerre, qui consiste à prendre l'initiative d'une attaque pour affaiblir l'adversaire, et en particulier ses forces aériennes.

Une stratégie de désanctuarisation peut être adoptée soit pour anticiper une guerre à venir perçue comme inexorable, soit pour répondre à une initiative occidentale menaçant les intérêts vitaux de l'adversaire, comme par exemple un début d'opération de changement de régime initié par un autre pays, et auquel l'Occident est susceptible d'apporter son soutien militaire. Plus ambitieuse et plus audacieuse qu'une stratégie de déni d'accès, plus risquée aussi, elle suppose également un différentiel de puissance moindre entre les pays occidentaux et leur adversaire, celui-ci acceptant de précipiter les hostilités pour pouvoir ensuite les conduire dans de meilleures dispositions. Là où

la stratégie du hérisson cherche à accumuler les coûts politiques, humains et financiers des opérations aériennes occidentales, la désanctuarisation prend les devants en désorganisant et en affaiblissant l'ennemi le plus en amont possible.

En comparaison des stratégies du hérisson et du déni d'accès, la désanctuarisation comporte une dimension dissuasive relativement faible. Bien qu'une posture de désanctuarisation puisse en théorie être efficace au point d'affaiblir dramatiquement les capacités d'action d'un ou plusieurs pays occidentaux et d'amener ceux-ci à abandonner la perspective d'un affrontement, il s'agit là d'une hypothèse extrêmement improbable en réalité, en raison de l'ampleur des moyens requis pour parvenir à un tel effet.

Pour l'essentiel, la désanctuarisation prépare une guerre à venir en modifiant l'équilibre des forces afin qu'il soit moins favorable à l'Occident. Ceci implique donc que l'acteur adoptant une telle posture ne dépasse pas le point culminant de l'offensive⁽²⁶⁰⁾ jusqu'à affaiblir en retour ses capacités défensives : la désanctuarisation n'a de sens que si elle s'accompagne d'une réserve stratégique capable de tenir tête aux forces aériennes occidentales lorsque l'opération anticipée finit pas survenir.

La désanctuarisation se singularise donc par sa recherche délibérée de l'escalade et par la prise de risque majeure qu'elle assume en s'attaquant au territoire national d'un, voire de plusieurs adversaires. Elle ne constitue pas pour autant une stratégie de rupture absolue, caractérisée par une absence totale de considération pour les représailles encourues en réponse à ses initiatives visant le territoire national.

Plusieurs pays occidentaux (États-Unis, France, Royaume-Uni) sont dotés de l'arme nucléaire, et tous les membres de l'Alliance Atlantique voient en théorie leurs intérêts vitaux protégés par les garanties offertes par les États-Unis dans le cadre de la dissuasion élargie. Le pari des postures de désanctuarisation est de prendre pour cible un angle mort de la dissuasion nucléaire occidentale. Celle-ci peut être amenée à souffrir d'un déficit de crédibilité face à des initiatives se situant en deçà des actes dépassant de manière évidente le seuil de nucléarisation : si une frappe nucléaire sur le territoire national franchit allègrement les lignes rouges posées par les postures dissuasives, qu'en est-il d'une attaque limitée de missiles à charge conventionnelle ciblant des infrastructures militaires ? Un pays occidental serait-il prêt à briser le tabou nucléaire en réponse à une cyberattaque massive mais sans effet conséquent sur sa population ?

Le pari de la désanctuarisation est donc de combiner attaques osées sur le territoire national et grande discrimination dans le choix des cibles et des dommages faits. Parce que la supériorité aérienne est la condition *sine qua non*

(260) Pour Clausewitz, la forme défensive de guerre est intrinsèquement plus forte que sa forme offensive. Le potentiel militaire s'usant plus vite dans l'offensive que dans la défensive, il est fondamental pour un chef de guerre de savoir interrompre ses actions offensives de manière à pouvoir tenir des positions défensives fortes et reconstituer son potentiel, d'où le concept clausewitzien de « point culminant de l'attaque ». Clausewitz, *De la guerre*, op. cit., p. 612.

à la fois d'un engagement militaire extérieur et de la mise en œuvre du modèle de guerre occidental, s'attaquer aux forces aériennes pour espérer les affaiblir dans la perspective d'un affrontement futur apparaît donc crucial et bénéfique pour l'adversaire. Ces attaques pourraient viser à réduire sa capacité à générer un nombre élevé de sorties offensives à longue distance, à raccourcir son allonge maximale, à affaiblir la résilience de ses moyens C4ISR ou à empêcher ceux-ci d'être permanents. Cette stratégie sera d'autant plus payante à l'avenir que la réduction poursuivie des volumes des forces aériennes occidentales diminuera à proportion leur capacité à supporter l'attrition. En ne frappant que les forces aériennes et les capacités militaires permettant leur coordination et leur projection à longue distance, une posture de désanctuarisation peut ainsi espérer affaiblir considérablement le potentiel offensif de certaines nations occidentales en restant en deçà du seuil nucléaire.

Pour que la désanctuarisation puisse avoir un effet physique conséquent, elle doit exploiter les faiblesses des systèmes de protection des bases aériennes situées sur le territoire national face à des infiltrations, voire à des attaques de drones en missions suicides. L'obtention d'un effet de surprise global est donc cruciale pour l'attaquant, qui doit tout faire pour l'obtenir. Une telle surprise passe par une série d'initiatives coordonnées à l'échelle du territoire national suffisamment concentrées dans le temps pour que l'effet majeur soit obtenu avant que le niveau d'alerte s'élève brutalement – comme cela serait le cas si les frappes contre les bases étaient étalées sur plusieurs jours.

MODES OPÉRATOIRES

Les modes opératoires de la désanctuarisation répondent aux principes suivants :

- exploiter l'effet de surprise à l'échelle du territoire national, en concentrant le plus grand nombre d'attaques possibles dans un laps de temps très limité, et en combinant attaques cinétiques et initiatives non cinétiques ;
- viser en priorité les HVAA, qui tendent à tous être regroupés par types sur les mêmes bases aériennes, et dont la neutralisation a un effet systémique sur les capacités de projection ;
- préparer le conflit dans une perspective de très long terme ;
- exploiter la transparence des démocraties occidentales sur l'organisation et les activités routinières de leurs forces aériennes pour recueillir du renseignement.

Le tableau 7 regroupe les différents modes opératoires envisageables dans le cadre d'une stratégie de désanctuarisation et précise les effets correspondant à chaque action.

TABLEAU 7 : STRATÉGIE DE DÉSANCTUARISATION : MODES OPÉRATOIRES

Modes d'action	Effets recherchés
Sabotage et actions non-conventionnelles	
Cybersabotage des industries aéronautiques (implantation d'un backdoor, espionnage pour permettre la mise au point de moyens de guerre électronique efficaces, etc.)	Réduire le potentiel offensif des forces aériennes ; créer des vulnérabilités
Assassinats de pilotes	Réduire le potentiel humain des forces aériennes
Cyberattaque visant les systèmes de surveillance des bases aériennes	Faciliter une pénétration dans le périmètre d'une base aérienne en préparation d'une attaque
Attentats contre des bases aériennes, visant les HVAA en priorité, puis les capacités de combat	Réduire la capacité de projection des forces aériennes, voire leur capacité de défense aérienne
Attentats contre des infrastructures critiques de l'armée de l'air ou interarmées (CDAOA, CPCO, centres de transmission, etc.)	Désorganiser totalement les capacités des forces aériennes et nuire à leur capacité de montée en puissance
Frappes sur le territoire national	
Cyberattaque visant des centres de C2 nationaux (CDAOA par exemple)	Réduire les capacités de détection avancée et de surveillance du territoire national, affaiblir la PPS en préparation d'une frappe de missiles ou de drones
Frappe sur bases aériennes à l'aide de : – missiles de croisière (plus lents et de plus courte portée, mais moins détectables et pouvant être tirés depuis des navires) ; – missiles balistiques (portée plus longue, plus difficiles à intercepter en raison de leur vitesse, mais peuvent être perçus comme porteurs de charges nucléaires et donc déstabilisant) ;	Détruire des HVAA ou des chasseurs non-protégés pour réduire le potentiel offensif des forces aériennes
Raid de mini-drones kamikazes sur les bases aériennes, en particulier celles comportant les HVAA (impossibles à protéger)	Réduire la capacité de projection des forces aériennes, voire leur capacité de défense aérienne

LIMITES ET FAIBLESSES

La désanctuarisation présente deux faiblesses, l'une ayant trait aux moyens requis, l'autre au pari fait par l'attaquant quant à l'absence de riposte.

Des moyens importants. À l'évidence, tandis que certains des modes opératoires exposés ci-dessus sont relativement aisés à mettre en pratique, une posture de désanctuarisation véritablement efficace n'est accessible qu'à un faible nombre de pays. Elle implique un renseignement fin, et surtout une coordination extrêmement complexe, liant infiltrations de groupes irréguliers, moyens de frappe à distance et sabotage cybernétique, le tout devant se produire dans une période extrêmement restreinte, pour exploiter pleinement l'effet de surprise initial. Par ailleurs, la désanctuarisation n'a de sens que si le pays qui l'adopte dispose de moyens crédibles de défense conventionnelle face à une opération occidentale – surtout si l'on considère que la solidarité entre pays occidentaux est encore crédible à l'horizon considéré.

Risque escalatoire. Le second problème est inhérent à la stratégie aérienne : le risque d'escalade. Il prend ici une forme différente de celle prise dans le cadre des autres stratégies considérées, dans la mesure où ce risque est assumé : c'est

l'attaquant qui prend l'initiative des hostilités, et sachant qu'une réponse se produira. Néanmoins, toute cette stratégie repose sur le pari que les lignes rouges établies – généralement de manière délibérément floue – par les pays occidentaux ont non seulement bien été appréhendées par l'attaquant, mais également *que le choc de la surprise ne les fera pas évoluer*⁽²⁶¹⁾. La guerre étant le domaine de l'inattendu, du stress et de la montée aux extrêmes, une attaque considérée par son auteur comme ciblant les moyens de l'adversaire de manière subtile et discriminée peut malgré tout être perçue par ce dernier comme entamant ses intérêts vitaux, le plaçant dans une logique de représailles massives.

STRATÉGIE DE L'AVEUGLEMENT ET DE LA SIDÉRATION

La stratégie de l'aveuglement et de la sidération (désignée « stratégie A&S » ci-après) constitue une stratégie de conflit prolongé mettant l'accent sur la lutte informationnelle. Encore moins que les autres stratégies présentées dans le cadre de cette étude, la stratégie A&S n'est suffisante à elle seule pour parvenir à vaincre les nations occidentales. Elle constitue néanmoins une posture en rupture avec les modes d'action passés, posture dont le potentiel de nuisance devrait être appliqué à croître au cours des deux prochaines décennies.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ET THÉORIE DE LA VICTOIRE

La stratégie A&S combine plusieurs caractéristiques en faisant une stratégie inédite, et de ce fait potentiellement déstabilisatrice pour les nations occidentales, et en particulier leurs forces aériennes.

Le cœur d'une posture A&S est l'exploitation maximale des technologies informationnelles et du spectre électromagnétique. Toutes les forces armées ont un intérêt clair à intégrer les technologies de l'information et ont d'ailleurs accéléré ce processus avec la fin de la guerre froide. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des forces aériennes, pour de nombreuses raisons tactiques : besoin de réactivité et de coordination sur de très grandes distances ; milieu aérospatial qui s'y prête tout particulièrement, en raison de sa transparence relative et des opportunités qui en découlent ; nécessité de suivre le rythme des innovations vu l'avantage qu'elles confèrent face aux adversaires en étant dépourvus... De fait, les plateformes sont totalement informatisées et deviennent toutes des plateformes C4ISR interconnectées – y compris les appareils dont la mission première est le combat. Or, cet investissement massif dans les technologies de l'information, secteur désormais tiré par la R&D civile, présente des vulnérabilités qu'une stratégie A&S cherche à exploiter de manière systématique.

Une stratégie A&S est une stratégie intégrale de lutte prolongée. Elle couvre un spectre d'intensité et une période extrêmement vastes. Il s'agit d'une posture visant à canaliser l'évolution de la conflictualité entre deux États adversaires et, si un glissement vers des hostilités ouvertes s'opère, à contrôler l'escalade

(261) Le recours à la surprise peut ainsi avoir pour effet pervers de renforcer la détermination de l'adversaire au lieu de provoquer son effondrement. Voir notamment Corentin Brustlein, « La surprise stratégique. De la notion aux implications », *Focus stratégique*, n° 10, octobre 2008, p. 22-24.

en apportant la démonstration d'un avantage massif dans le domaine informationnel et électromagnétique.

Aussi longtemps que possible, une stratégie A&S n'emploie que des moyens discrets et non-attribuables. En recourant à des moyens cybernétiques et en multipliant les acteurs intermédiaires (*proxies*), elle permet de demeurer indétectable par le pays occidental visé, ou du moins de jouer sur le caractère non-attribuable et ambigu d'attaques ayant les apparences d'incidents. Ce faisant, elle pose les bases d'une collecte de renseignements et d'implantation de moyens de manipulation cybernétique exploitables en cas d'escalade. En parallèle, et toujours dans un cadre d'hostilités non ouvertes, une posture A&S investit dans la communication stratégique, la propagande, l'influence des médias et des décideurs afin de décourager toute escalade du pays occidental.

Tandis que la première phase insidieuse de la stratégie A&S – l'aveuglement –, qui comporte sabotage, renseignement et propagande, peut potentiellement s'étendre sur plusieurs années, une seconde phase peut advenir, caractérisée par une escalade par paliers successifs, chacun étant l'occasion de décourager l'intensification des hostilités et le passage aux opérations militaires. Comme dans le domaine nucléaire ou conventionnel, disposer d'une telle capacité de « contrôle de l'escalade » est extrêmement exigeant en termes de ressources. L'investissement majeur et – à l'origine en tout cas – aussi discret que possible dans la cybernétique et la maîtrise du spectre électromagnétique doit offrir un avantage comparatif asymétrique face à un adversaire occidental n'ayant pas choisi ces domaines comme axe de développement prioritaire – tout en en dépendant massivement. En s'adossant à une maîtrise maximale des domaines spécifiques de la guerre cybernétique et électronique, une posture A&S peut tirer profit de l'interaction et du rapprochement grandissant entre ces deux domaines.

Une fois que le pays occidental ciblé est entré dans une logique de conflit ouvert, ce « contrôle de l'escalade » peut donc être mis au service d'une stratégie de dissuasion, au cours de laquelle la maîtrise de l'environnement numérique et électromagnétique est employée pour adresser des signaux au pays occidental, laissant entrevoir les conséquences d'une escalade militaire.

Si le pays occidental ciblé n'est pas dissuadé, l'acteur ayant adopté la stratégie A&S peut alors déployer son second volet, la sidération, qui consacre l'entrée dans une logique d'affrontement militaire. La sidération tire profit de l'avantage en termes de guerre cybernétique et électronique et de l'instantanéité qui caractérise ces domaines pour frapper par surprise et viser des effets de désorganisation massive et de destruction sélective. En affaiblissant brutalement les architectures C4ISR des forces aériennes ciblées (couverture C4ISR parcellaire/intermittente sur le théâtre et à proximité, usage contesté de l'environnement informationnel et électromagnétique sur le théâtre et jusque sur le territoire national, nécessité d'opérer en mode dégradé, etc.), une posture A&S multiplie les risques de friction et prépare l'affrontement en émoussant l'avantage militaire jusqu'alors au cœur du modèle occidental, à savoir l'engagement à distance de sécurité.

MODES OPÉRATOIRES

Les modes opératoires d'une stratégie A&S se déclinent sur tout le spectre allant de l'aveuglement à la sidération. S'inscrivant dans une logique de lutte prolongée, ils pourraient privilégier les propriétés suivantes :

- caractère ambigu et non attribuable des premières actions;
- affaiblissement sur le long terme (collecte de renseignement, impact sur l'opinion publique et les décideurs occidentaux, etc.);
- maximisation de l'effet de surprise dans la gestion de l'escalade par dévoilement de capacités inédites;
- désorganisation systémique des forces aériennes par l'élimination ou la neutralisation des multiplicateurs de force;
- augmenter côté occidental les sources de friction susceptibles d'entraîner des pertes;
- multiplier les coûts politiques des opérations en exploitant l'avantage possédé en guerre cybernétique et électronique pour monter une manipulation massive de l'information disponible.

Le tableau 8 regroupe les différents modes opératoires envisageables dans le cadre d'une stratégie d'aveuglement et de sanctuarisation et précise les effets correspondant à chaque action.

LIMITES ET FAIBLESSES

Au minimum, deux faiblesses peuvent être attribuées à la posture d'aveuglement et de sidération telle qu'elle a été exposée. Premièrement, une stratégie A&S apparaît difficilement suffisante pour assurer la victoire. Une stratégie fondée sur un avantage décisif dans les deux domaines concernés n'aurait de chance de parvenir aux effets recherchés qu'à condition : 1) que les investissements consentis en guerre cybernétique et électronique aboutissent à l'obtention d'un net avantage sur les forces aériennes occidentales, et que ; 2) ces dernières ne soient pas parvenues à améliorer leur résilience face au risque d'un effondrement de leur architecture C4ISR. Demeurant extrêmement dépendantes de celle-ci, les forces aériennes occidentales ciblées seraient alors dissuadées d'engager des opérations en environnement dégradé, au risque de subir des pertes inédites en raison de l'égalisation soudaine du rapport de force. La deuxième faiblesse d'une stratégie A&S est qu'elle est très exigeante en ressources. Parvenir à disposer d'un levier aussi écrasant sur un adversaire requiert un investissement durable et lourd. Or, contrairement à des capacités militaires conventionnelles, un tel avantage est étroitement lié à certaines caractéristiques du pays ciblé (infrastructures/capacités/réseaux nationaux, etc.) et ne serait donc qu'en partie transposable face à d'autres adversaires. Surtout, si un tel investissement peut être envisageable pour affaiblir un pays en particulier, appliquer une telle stratégie à plusieurs pays occidentaux impliquerait un investissement tel qu'il devrait demeurer hors de portée de toute puissance régionale.

TABLEAU 8 : STRATÉGIE DE L'AVEUGLEMENT ET DE LA SIDÉRATION :
MODES OPÉRATOIRES

Modes d'action	Effets recherchés
Actions cybernétiques	
Cybersabotage des industries et forces (installations de <i>backdoors</i> , recueil de renseignement, alimentation des bases de données pour guerre électronique, etc.)	Créer des vulnérabilités dans les forces aériennes à long terme
Attaque / manipulation des systèmes de contrôle aérien civil	Créer le chaos sur le territoire national; insinuer le doute quant à la possibilité de disposer d'un C2 résilient en opération (à des fins de dissuasion)
Attaque sur les systèmes d'information logistiques	Perturber la montée en puissance d'une opération; créer de la friction
Attaque sur les centres C2 air ou interarmées	Désorganiser une opération tandis qu'elle est en cours; créer de la friction
Attaque sur les centres de contrôle des drones	Désorganiser une opération; créer des fratricides
Guerre électronique	
Brouillage et manipulation des transmissions satellites et de l'imagerie radar	Réduire la couverture C4ISR adverse; tromper l'adversaire; créer de la friction
Brouillage et manipulation des transmissions des drones	Neutraliser des HVAA (ISR stratégique); aveugler l'adversaire en réduisant sa couverture ISR; tromper l'adversaire
Défense active	
Positionnement et dispersion de capacités sol-air longue portée (possiblement antiradar) à l'extérieur du territoire défendu (navires civils)	Éliminer des HVAA en les frappant depuis une origine inattendue
Attaque cinétique ou laser contre satellites de communication ou reconnaissance	Réduire la couverture C4ISR adverse; créer de la friction
Guerre de l'information	
Désinformation de temps de paix (influence des médias et décideurs, propagande, etc.)	Éviter d'être suspecté; façonner l'opinion publique; décourager une escalade
Subversion avancée (ex. : diffusion de témoignages vidéos truqués de haute qualité)	Affaiblir le soutien populaire aux opérations en cours et encourager l'opposition

CONCLUSION : VERS L'AVÈNEMENT D'UNE « TRACE CHINOISE » ?

Ces cinq types idéaux de contre-stratégies n'épuisent pas le sujet. Ils illustrent toutefois certaines des options accessibles aux adversaires capables de concevoir et de déployer un plan d'opposition dépassant le seul niveau tactico-opérationnel. Il est même théoriquement possible d'imaginer, hypothèse extrême, qu'une « contre-stratégie intégrale » parvienne à combiner l'ensemble des moyens disponibles, mettant ainsi en échec les postures aériennes occidentales, au point d'imposer une nouvelle norme exigeant en retour une adaptation majeure du modèle contemporain de guerre occidentale. Aussi nébuleuse qu'elle puisse sembler, cette hypothèse ne s'en appuie pas moins sur des précédents historiques.

En 1494, le roi de France Charles VIII ouvre l'ère des guerres d'Italie (1494-1558) par une invasion dévastatrice pour les principautés de la Péninsule. Ses victoires sans pareilles sont principalement le résultat d'une innovation

offensive majeure : l'artillerie de campagne. Face à cette transformation technico-opérationnelle dont la maturation remonte à la fin de la guerre de Cent Ans, il apparaît vite que les fortifications traditionnelles reposant sur des murs hauts et peu épais ne peuvent offrir de résistance valable. Afin d'adapter leur défense et de rétablir l'équilibre tactique et stratégique, les architectes italiens de la Renaissance élaborent alors une nouvelle forme de fortifications, au tracé géométrique connu sous le nom de « trace italienne ». De cette innovation technique, reposant sur des lignes brisées et des murs bas, inclinés et épais, découle une nouvelle conception de l'art opératif – reposant non seulement sur un réseau de forteresses capables de se soutenir mutuellement mais également sur une conception de la bataille dans les interstices – qui bascule à nouveau en faveur de la défensive à partir des années 1530 avant de se répandre dans le reste de l'Europe, réintroduisant le siège comme figure centrale de la guerre⁽²⁶²⁾.

En suivant ce schéma historique et en le comparant au contexte stratégique contemporain, il apparaît intéressant de souligner qu'une innovation offensive aussi importante que l'artillerie mobile à la Renaissance ou les frappes aériennes de précision à la fin du xx^e siècle ne peut jamais être considérée comme un acquis définitif et prête toujours au développement de contre-stratégies. En filant la métaphore, et au regard des avancées considérables des modes de contestation de la puissance aérienne, l'avènement d'une « trace chinoise », combinant les briques technico-capacitaires avec les postures stratégiques évoquées précédemment, pourrait potentiellement annuler les avantages offensifs incontestés dont a pu jouir l'arme aérienne depuis plusieurs décennies. Bâtie à partir de la révolution du radar à balayage électronique à antennes actives et de la démocratisation des technologies de l'information, cette nouvelle donne stratégique contribuerait ainsi à multiplier les régimes d'interdiction aérienne à travers le monde en jouant sur des SDAI performants (combinant défense sol-air et flotte d'intercepteurs), en excluant l'accès aux bases avancées et en maintenant la pression sur les systèmes de commandement et de contrôle par des moyens technologiques ou politiques. Les forces aériennes occidentales doivent dès aujourd'hui faire face à la perspective d'une telle évolution globale à un horizon relativement proche (une à deux décennies), ce qui leur impose un effort d'adaptation considérable pour parvenir à pérenniser leur supériorité.

(262) Selon l'historien britannique Geoffrey Parker, l'introduction de la trace italienne est notamment à l'origine de la croissance des effectifs militaires à partir de xvi^e siècle. Voir Geoffrey Parker, *The Military Revolution : Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800*, 2nd. Ed. Press Syndicate of U. of Cambridge, 1996; Mahinder S. Kingra, « The Trace Italienne and the Military Revolution During the Eighty Years' War, 1567-1648 », *The Journal of Military History*, vol. 57, n^o 3 (juin 1993), p. 431-446.

CHAPITRE 3

PÉRENNISER LA SUPÉRIORITÉ AÉRIENNE OCCIDENTALE

INTRODUCTION

La dépendance occidentale à l'égard de la supériorité aérospatiale requiert que le maintien de celle-ci soit un objectif prioritaire du développement des forces aériennes. Face à des postures composites dont l'efficacité tient tant à des considérations politico-stratégiques qu'à des facteurs techniques et opérationnels, les «voies et moyens» à privilégier doivent nécessairement s'inscrire dans ces deux registres. Possédant des objectifs et des intérêts convergents, confrontées à des défis communs, les forces armées occidentales doivent se coordonner pour tenter d'enrayer le processus d'érosion de leur avantage militaire dans le domaine aérospatial.

Cette nécessité se pose néanmoins en des termes radicalement différents pour les forces aériennes américaines et européennes, ces dernières souffrant de lacunes capacitaires encore rappelées par les opérations en Libye en 2011. Si les principales armées de l'air occidentales (en particulier l'USAF, la RAF et l'armée de l'air) ont réalisé des progrès considérables en termes d'interopérabilité et ont su développer des partenariats extrêmement féconds, la réorientation de la grande stratégie américaine en direction de l'aire asiatique, amorcée depuis une décennie et réaffirmée actuellement *via* le concept de «pivot», impose aux forces aériennes européennes de s'interroger sur les domaines de dépendance critiques auxquels il serait, à terme, nécessaire de remédier en priorité.

Face à ce défi considérable, il convient donc de procéder, domaine par domaine, à une revue des capacités actuelles, en développement ou potentielles, sur lesquelles les stratégies des forces aériennes occidentales seraient susceptibles de s'appuyer à l'avenir pour réaffirmer leur supériorité. Cette analyse prospective permet ainsi de dégager les briques capacitaires requises et de les articuler au final en une vision stratégique dynamique.

MAINTENIR L'AVANCE OCCIDENTALE EN AFFRONTEMENT SYMÉTRIQUE

Il apparaît peu probable que les principales menaces à la supériorité aérienne occidentale à l'horizon des années 2025-2030 soient d'ordre strictement symétrique. La constitution de systèmes de défense aérienne intégrée et la protection de la force face aux menaces cinétiques et non-cinétiques devraient représenter des défis bien plus préoccupants dans l'avenir. Pour autant, l'ascension économique de rivaux potentiels et le développement de chasseurs modernes posent la question de la réduction à plus long terme de l'avantage militaire occidental. Les réponses à cette question sont différentes selon les angles adoptés : les

États-Unis n'ont ni les moyens, ni les responsabilités de la France. Un aperçu de leurs orientations peut néanmoins fournir des enseignements intéressants quant aux options offertes aux puissances moyennes.

LE PARI DE LA QUALITÉ... EN QUANTITÉ

Les États-Unis ont à la fois le premier budget de la défense au monde, supérieur au cumul des quinze pays suivants, la panoplie la plus complète de moyens de guerre aérienne et les modèles les plus avancés d'appareils. Il pourrait donc paraître peu probant de tenter de se comparer à leur situation⁽¹⁾. Cependant, cette supériorité des moyens s'accompagne de responsabilités globales que n'ont pas les puissances moyennes, et qui s'accompagnent de dilemmes d'investissements croissants pour les États-Unis, à mesure que s'effectue la redistribution de la puissance vers l'Asie. Ces dilemmes agitent les débats des forces aériennes américaines et sont instructifs pour les autres forces aériennes occidentales.

La façon dont les orientations de l'USAF sont parfois dépeintes semble indiquer que les forces aériennes américaines ont fait le choix net de la qualité sur la quantité.⁽²⁾ Elles prévoient en effet de faire reposer leurs capacités de combat tactique uniquement sur des appareils de 5^e génération combinant furtivité, radars à balayage électronique à antennes actives, manœuvrabilité extrême et d'excellentes capacités de fusion des données ISR. Il convient pourtant de nuancer cette vision d'un choix n'insistant que sur la qualité.

Certes, le coût unitaire du F-22 est tel que l'appareil n'a été produit qu'en nombre relativement faible – moins de 190 exemplaires. Un dilemme opposant qualité et quantité impliquerait que le taux de remplacement des plateformes de quatrième génération soit nettement inférieur à 1 : 1, les capacités supérieures des derniers modèles autorisant une réduction du parc. Or, les plans actuels du Pentagone concernant la production des appareils de 5^e génération d'ici 2030 sont encore loin d'envisager un changement significatif de ce ratio, et tablent sur l'achat d'un peu plus de 2 400 F-35⁽³⁾. Les prévisions se fondent donc pour l'heure sur un maintien des besoins quantitatifs des forces américaines en termes d'aviation tactique, identifiés actuellement à près de 3 200 appareils. Un tel niveau d'exigence est, certes, probablement irréaliste – des estimations prévoyaient déjà en 2010 que, malgré l'augmentation du rythme de production du F-35, le parc d'aviation tactique américain compterait en 2030 un volume d'appareils inférieur de près de 10% au niveau de besoin actuellement identifié⁽⁴⁾. Le maintien de ce niveau d'exigence amène

(1) *Military Balance 2013, op. cit.*, p. 41.

(2) Dan Parsons, « Air Force Trades Quantity for Quality », *National Defense*, mars 2012, <http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2012/March/Pages/AirForceTradesQuantityForQuality.aspx>

(3) *F-35 Joint Strike Fighter. Current Outlook Is Improved, but LongTerm Affordability Is a Major Concern*, Washington, Government Accountability Office, mars 2013, p. 5.

(4) *Tactical Aircraft. DOD's Ability to Meet Future Requirements Is Uncertain, with Key Analyses Needed to Inform Upcoming Investment Decisions*, Washington, Government Accountability Office, juillet 2010, p. 9-14.

en tout cas à nuancer l'idée selon laquelle les forces aériennes auraient fait le choix de la seule qualité, avec à la clé une réduction significative du nombre de plateformes disponibles.

Le choix d'une flotte composée uniquement d'appareils de 5^e génération n'empêche pas d'importantes disparités dans les capacités attendues des différents types d'aviation tactique américaine d'ici quinze ans. Le F-22 va constituer le fer de lance de toute offensive aérienne : bien qu'elles n'aient pas été prévues lors de la conception de l'appareil, les différentes étapes de modernisation du F-22 devraient compléter des capacités ISR et air-air exceptionnelles par des capacités de frappe air-sol autonome à l'aide de vecteurs diversifiés. Devenu polyvalent, le F-22 sera l'instrument essentiel destiné à la neutralisation des menaces les plus sérieuses, tant en air-air qu'en sol-air. Ayant une surface équivalente radar extrêmement faible face à des émissions situées dans des bandes variées du spectre, le F-22 pourrait être l'un des rares appareils « furtifs » à même de conserver une faible signature face à des radars à balayage électronique à antenne active (AESA) modernes⁽⁵⁾.

Bien qu'étant présenté comme appartenant à la catégorie des chasseurs de 5^e génération, le F-35 s'inscrit dans une logique aussi quantitative que qualitative⁽⁶⁾. De fait, certains analystes estiment que sa SER sera supérieure à celle des F-22⁽⁷⁾. Néanmoins, une SER extrêmement faible n'est cruciale que dans les toutes premières phases d'une opération : le besoin en plateformes à furtivité maximale décroît à mesure que l'environnement électromagnétique est moins saturé en émissions radar provenant de systèmes adverses (aéroportés ou en surface)⁽⁸⁾. L'*Air Force* formerait donc une « pointe de fer » composée de F-22, qui prendrait en charge les menaces air-air les plus préoccupantes du théâtre, par exemple les chasseurs ennemis dotés des radars les plus puissants ou les systèmes de contre-mesures électroniques les plus performants. La neutralisation du plus haut niveau de menace air-air permettrait une réduction de la dangerosité du théâtre d'opérations, ouvrant la voie à la participation des F-35.⁽⁹⁾ Entre 2020 et 2030, on peut donc s'attendre à ce que l'ouverture d'un théâtre par les forces aériennes américaines repose, dans l'ordre d'implication, sur des F-22/B-2, puis des F-35⁽¹⁰⁾, puis des chasseurs de 4^e génération encore en service (F-15SE, F/A-18E/F...), et soutenus par des EA-18G *Growler*.

(5) Entretien avec des experts civils.

(6) Conférence du général Hostage, « Maintaining Dominant Combat Air Power in Fiscal Austerity », CSIS, 30 novembre 2012.

(7) Carlo Kopp, « Lockheed Martin F-35 Lightning II – Joint Strike Fighter. Assessing the Joint Strike Fighter, Technical Report », *Air Power Australia*, janvier 2007, <http://www.ausairpower.net/APA-JSF-Analysis.html>

(8) Entretien avec des experts militaires.

(9) Conférence du général Hostage. Mark Bowden, « The Last Ace », *The Atlantic*, mars 2009, <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2009/03/the-last-ace/307291/>

(10) Voir notamment Robbin F. Laird et Edward T. Timperlake, « The F-35 and the Future of Power Projection », *Joint Forces Quarterly*, n° 66, 3^e semestre 2012, p. 86.

Le recours aux seuls avions tactiques de 5^e génération illustre l'intérêt récurrent de l'*Air Force* pour la furtivité. Bien que le caractère soutenable de ce choix n'ait rien d'évident, il ne semble pas avoir faibli. Ainsi, tant les spécifications générales du remplaçant du B-52, le *Long Range Strike Bomber* (LRSB) que celles des chasseurs de 6^e génération font état d'un besoin de plateformes à très faible SER⁽¹¹⁾. La DARPA semble avoir lancé au moins quatre projets sur la furtivité à large bande du spectre⁽¹²⁾.

Ce choix de la furtivité comme composante clé de la domination aérienne pourrait être remis en question sous l'effet de plusieurs facteurs. L'émergence de systèmes sol-air intégrant des radars passifs ou AESA à longue portée et étant en outre moins contraints par la taille, les coûts écrasants en termes de R&D et de maintenance qui sont avérés dans le cas des F-22 et B-2, les problèmes que pose l'entretien de plateformes furtives à bord de porte-avions sont autant de données qui pourraient amener à reconsidérer la furtivité⁽¹³⁾. Confirmant cette estimation, le général Hostage, commandant du *Air Combat Command*, a d'ailleurs reconnu que la question du rendement décroissant du choix de la furtivité pourrait être posée en vue de la conception des modèles de chasseurs de 6^e génération⁽¹⁴⁾, et il est probable que la capacité du Pentagone, au cours de la prochaine décennie, à mettre un terme à la série de problèmes rencontrés par le F-35 comptera parmi les facteurs affectant lourdement cette réévaluation. Dans l'hypothèse défavorable où une montée en puissance apparaîtrait urgente, et où les F-35 s'avéreraient très en deçà des espérances, Lockheed Martin a mis dans des conteneurs à air conditionné toutes les 30 000 machines et éléments divers requis pour faire fonctionner une chaîne de production de F-22, et a fait entreposer ces conteneurs sur une installation de l'*Army*. Ils ont complété ce dispositif par un vaste programme de photographies, d'enregistrements vidéos et d'entretiens destinés à sauvegarder les savoir-faire des personnels impliqués dans la construction⁽¹⁵⁾.

L'entrée en service de chasseurs de 6^e génération est actuellement prévue vers 2030, mais son glissement vers la fin de la décennie semble déjà probable⁽¹⁶⁾. Les constructeurs aéronautiques américains travaillent déjà sur la mise au point de premiers concepts, l'USAF s'inquiétant notamment du rythme auquel les chasseurs de 4^e génération actuels (tous les F-15/16, *Harrier*, F/A-18 A-D)

(11) Entretien avec des experts militaires.

(12) Entretien avec des experts civils.

(13) L'un des nombreux aspects innovants – et donc, d'une certaine manière, risqués – du F-35 est le fait que la réduction de sa SER doit reposer sur des matériaux requérant une main-d'œuvre nettement moindre que celle des F-22. Le recours à ces matériaux devrait même renforcer la furtivité de l'avion au fil du temps. Cette prétention du constructeur, Lockheed Martin, demande néanmoins à être vérifiée dans les faits et suscite pour l'heure le scepticisme. Entretien avec des experts civils. Voir également David Axe, « Lockheed's Dubious Claim : Stealth Fighter will Get Stealthier with Age », blog Danger Room, 6 novembre 2012, <http://www.wired.com/dangerroom/2012/11/f-35-gets-stealthier/>

(14) Conférence du général Hostage, *op. cit.*

(15) David Axe, « Romney Promises to Revive Stealth Jets, but it Won't Happen », blog Danger Room, 9 novembre 2012, <http://www.wired.com/dangerroom/2012/09/romney-more-f-22s/>

(16) J. R. Wilson, « 6th Generation Combat Aircraft », *Defense*, hiver 2012, p. 100-105.

vont être retirés du service dans les quinze prochaines années, et nourrissant des doutes quant à la capacité à soutenir le rythme de production prévu pour les F-35, et donc à satisfaire les besoins quantitatifs identifiés par les armées (environ 3 200 chasseurs)⁽¹⁷⁾.

Tels qu'ils sont actuellement envisagés, les chasseurs de 6^e génération (*Next Generation Tactical Aircraft* pour remplacer le F-22; *Next Generation Air Dominance*, pour la *Navy*) devraient être caractérisés par de nouveaux développements : capteurs ISR déportés (*offboard sensing*) et fusion des données en étant issues, capacités de résistance aux brouilleurs offensifs adverses de nouvelle génération et de protection électromagnétique (paillettes « intelligentes », brouillage défensif), nouvelles formes de discrétion électromagnétique.

Un dernier volet des projets de supériorité aérienne concerne le futur des missiles air-air longue portée. Jusqu'au printemps 2012, les ambitions de l'USAF ont reposé sur le développement d'un *Next Generation Missile* (NGM), censé à la fois répondre à l'allonge supérieure des futurs missiles air-air transhorizon russes et chinois et conduire des frappes antiradar à longue distance⁽¹⁸⁾. Ce renouvellement posait pourtant plusieurs problèmes : le missile devait emporter des moyens de guidage plus variés, avoir une allonge supérieure à celle de l'AIM-120D, sans être plus volumineux. Dans le contexte actuel de restriction budgétaire, et du fait de la rareté avérée du combat transhorizon, l'USAF s'est rapidement trouvée isolée dans sa quête d'un nouvel instrument de domination aérienne. Tandis que 16 000 missiles AIM-120 AMRAAM (toutes versions confondues) ont été produits, seules quelque dizaines d'exemplaires ont été utilisés, par conséquent la *Navy* n'a pas vu dans le NGM une priorité en matière de R&D, et a préféré compter sur l'existant, à savoir l'AIM-120D et l'AGM-88E, pour assurer ses missions air-air et SEAD, forçant l'*Air Force* à abandonner le NGM. Un programme de la DARPA distinct du NGM porte également sur un missile longue portée capable de traiter trois types de cibles : les avions, les radars de défense aérienne et les missiles de croisière⁽¹⁹⁾. Néanmoins, après l'abandon du NGM, le futur du programme *Triple Target Terminator* (T3) apparaît incertain⁽²⁰⁾.

OPTIONS POUR DES PUISSANCES MOYENNES

À une échelle européenne et à l'horizon 2030, il n'existe qu'un seul adversaire symétrique crédible pouvant poser un grave problème en termes de combat air-air : la Russie. Si le *Sukhoi T-50* tient ses promesses, les armées de l'air européennes pourraient être confrontées à des accrochages impliquant des

(17) *Tactical Aircraft. DOD's Ability to Meet Future Requirements Is Uncertain, op. cit.*, p. 9-14.

(18) Stephen Trimble, « IN FOCUS : USAF committed to replace AMRAAM and HARM with new missile », *Flightglobal.com*, 6 décembre 2011, <http://www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-usaf-committed-to-replace-amraam-and-harm-with-new-missile-365333/>

(19) « Triple Target Terminator (T3) », *darpa.mil*, disponible à l'adresse : [http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Triple_Target_Terminator_\(T3\)](http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Triple_Target_Terminator_(T3))

(20) Zach Rosenberg, « USAF Cancels AMRAAM Replacement », *Flightglobal.com*, 14 février 2012, disponible à l'adresse : <http://www.flightglobal.com/news/articles/usaf-cancels-amraam-replacement-368249/>

chasseurs combinant une faible SER, une excellente manœuvrabilité, un puissant radar AESA et des missiles transhorizon à très longue portée. Hormis le cas russe, la menace air-air dans l'environnement européen pourrait prendre la forme de chasseurs de 3^e et 4^e génération se comptant par dizaines et dont les capacités ISR comme les moyens air-air auraient été modernisés. Tandis qu'un accrochage sérieux avec la Russie susciterait certainement une remontée en puissance américaine sur le vieux continent, les Européens pourraient devoir assurer par eux-mêmes la supériorité en combat air-air au-delà de la zone couverte par le traité de Washington.

Contrairement aux États-Unis, les pays européens sont en cours d'acquisition de plateformes de «4^e génération avancée» et seront incapables de développer et de produire à l'horizon considéré des plateformes habitées à très faible SER. Dans un scénario d'engagement collectif, les dizaines de F-35 disponibles – parmi ceux ayant été achetés au final – pourraient se trouver en situation difficile face à la Russie, mais disposer d'une avance nette face à des adversaires inférieurs.

À un niveau français, la réponse à une érosion potentielle de la supériorité aérienne européenne dans son voisinage immédiat pourrait s'articuler autour d'au moins quatre axes – n'étant pas tous susceptibles d'être explorés avec la même énergie : 1) le recours aux plateformes pilotées à distance ; 2) le renforcement des capacités de guerre électronique offensive et défensive ; 3) le maintien d'un effort en termes d'entraînement du fort au fort ; et 4) une réflexion sur l'avenir de la défense sol-air en Europe face aux appareils à très faible SER.

Les interrogations sur la place des plateformes pilotées à distance (drones) dans le combat aérien futur sont d'ores et déjà nombreuses. Sur le papier, les atouts des drones pour ce type de missions sont nombreux : si la persistance est particulièrement appréciée à des fins de surveillance des cibles terrestres, elle offre des avantages clairs de réactivité pour des missions d'alerte avancée, de surveillance et de caractérisation des cibles aériennes. Un second avantage propre aux drones est l'absence de pilote embarqué, ce qui autorise des règles d'engagement exposant davantage la plateforme, et des profils de vol exploitant des possibilités aérodynamiques hors de portée des plateformes habitées, du fait de limites physiologiques. Un autre avantage, plus rarement souligné, est l'allégement de la logistique d'une opération aérienne : une opération conduite uniquement à l'aide de drones rend inutile la chaîne logistique consacrée à la fonction *Combat Search and Rescue* ⁽²¹⁾.

Bien que l'on ne s'attende pas à ce que l'introduction des drones dans le combat air-air leur permette de supplanter des plateformes habitées à l'horizon considéré ⁽²²⁾, ils devraient néanmoins prendre une place croissante dans les missions de supériorité aérienne. Aux États-Unis, la réflexion s'oriente notamment vers des parcs de drones de combat ou de surveillance intégrés aux flottes

(21) Entretien avec des experts civils.

(22) Entretien avec des experts militaires.

d'aviation tactique. Sur le site de *Skunk Works*, Lockheed Martin étudie ainsi la possibilité d'associer des drones à des chasseurs de 5^e ou 6^e génération : le pilote du chasseur guiderait son appareil en même temps que les drones l'escortant – à moins qu'un copilote soit chargé des drones. Bien que l'industriel ait testé la possibilité pour un opérateur de commander deux drones en même temps, des expériences portant sur le contrôle d'un nombre plus grand encore doivent encore être conduites, et pourraient se heurter à des barrières cognitives⁽²³⁾.

À une échelle française et à l'horizon temporel considéré par cette étude, de telles options paraissent exclues, et il semble extrêmement improbable que les drones puissent avoir un impact fort sur le combat air-air. Au mieux, l'armée de l'air de 2030 pourrait être organisée autour d'un parc mixte composé de *Rafale* et de premiers drones de combat performants à faible SER, qu'ils soient développés sur une base nationale, binationale (démonstrateur FCAS avec le Royaume-Uni) ou multinationale⁽²⁴⁾. Néanmoins, ces drones n'auront *a priori* pas été introduits depuis longtemps dans les forces et tiendront vraisemblablement un rôle annexe dans le combat air-air, en comparaison des *Rafale*.

Un emploi accru de ce type de plateformes à des fins de supériorité aérienne se heurte en outre à certaines limites. Qu'il s'agisse de drones ISR ou armés, les drones actuels sont lents, souvent bruyants et si vulnérables qu'ils ne sont utilisables qu'en environnement permissif. Bien qu'ils aient été initialement imaginés comme des moyens plus facilement remplaçables que les plateformes habitées, ils sont déjà très onéreux⁽²⁵⁾. Déjà à l'œuvre pour les drones actuels, cette tendance ne devrait pas connaître d'inflexion subite dans les quinze prochaines années : le coût d'une plateforme croît avec le niveau d'exigence des missions qui lui sont assignées, et rien ne permet de dire qu'un drone de combat à très faible SER serait significativement moins cher qu'une plateforme habitée. Un recours croissant aux plateformes non habitées implique enfin une grande confiance en la capacité à résoudre les nombreux problèmes de sécurisation des liaisons qui continueront de se poser. Les progrès pouvant être accomplis en termes d'autonomie des plateformes permettraient de résoudre une partie de ces difficultés, mais soulèvent de nombreuses autres questions (juridiques, éthiques, etc.), en particulier pour des plateformes armées⁽²⁶⁾.

La guerre électronique⁽²⁷⁾ constitue un domaine que l'*Air Force* a réinvesti au cours des dernières années. Après avoir abandonné ce secteur – en particulier le brouillage offensif – à la *Navy* après le retrait de ses derniers EF-111, à la fin des années 1990, l'armée de l'air américaine a dernièrement été amenée à

(23) Stephen Trimble, « Chief skunk on 6th-gen fighters, 2-seat F-35s & classified UAVs », *The DEW Line*, 11 janvier 2012, <http://www.flightglobal.com/blogs/the-dewline/2012/01/chief-skunk-on-6th-gen-fighter.html>

(24) Dominic Perry, « Stealthy Steps », *Flight International*, 16-22 avril 2013, p. 34-35.

(25) Conférence du général Hostage *op. cit.*

(26) Entretien avec des experts civils.

(27) De plus longs développements sont consacrés à la guerre électronique dans « L'avenir des missions SEAD », portant sur l'avenir des missions de neutralisation des défenses aériennes.

reconsidérer ce choix⁽²⁸⁾. Incitée par l'accent mis sur le déni d'accès et par des initiatives comme le concept d'*Air-Sea Battle* (cf. « Quelle adaptation conceptuelle » *infra*), l'USAF semble avoir entamé un dialogue avec la *Navy* afin d'étudier les convergences de leurs besoins en termes de guerre électronique, probablement en préalable au choix du modèle de brouilleur offensif de nouvelle génération qui sera acheté par les armées américaines⁽²⁹⁾.

À un niveau français, les initiatives envisageables dans le domaine de la guerre électronique apparaissent limitées. Face à des adversaires non furtifs, dotés de radars AESA et de missiles air-air longue portée, les capacités défensives du *Rafale* reposeront toujours sur le système de contre-mesures intégré SPECTRA. En plus d'être mis à jour grâce aux bases de données ROEM alimentées par les capteurs disponibles, SPECTRA pourrait voir son efficacité face aux menaces modernes accrue par un programme de modernisation, pouvant par exemple augmenter la puissance du système – et donc ses capacités de brouillage défensif – ou en exploitant les opportunités offertes par l'établissement de liaisons entre les systèmes SPECTRA de plusieurs *Rafale* se soutenant mutuellement et pouvant réagir à un spectre plus large de menaces. Une seconde option, plus ambitieuse, pourrait être de poursuivre le développement du radar RBE2 AESA afin de doter celui-ci des fonctionnalités de brouillage offensif envisagées pour ce type de technologies. Idéalement, les bénéfices les plus nets seraient vraisemblablement issus d'une étroite intégration, à l'échelle de plusieurs *Rafale*, des fonctions d'analyse de la menace et de CME par SPECTRA et d'attaque électronique du RBE2 AESA.

L'une des réponses les plus évidentes – mais aussi les plus cruciales – à l'intensification de la menace air-air à longue portée consiste à maintenir, voire à intensifier les efforts en termes de compétence tactique des pilotes. Avec la tendance à l'égalisation des capacités du fait du croisement des courbes budgétaires et de la diffusion de systèmes avancés, l'avantage très net possédé par l'Occident en combat air-air pourrait se réduire, à mesure que nous serons confrontés à des systèmes modernes. Les forces aériennes occidentales possèdent un atout dont les forces israéliennes bénéficient à un niveau équivalent : l'expérience opérationnelle. Résultat de dizaines d'opérations d'échelles variées et de processus RETEX efficaces, cette expérience a apporté aux forces aériennes occidentales une richesse tactique unique. Celle-ci s'est accumulée sur des années, tout en étant complétée par les bénéfices d'un effort en termes de réalisme lors des entraînements⁽³⁰⁾.

Or, lorsqu'il est nécessaire d'affronter des adversaires possédant des systèmes aux capacités comparables, et dans des nombres similaires, seule la compétence tactique permet de prendre le dessus, de surprendre l'adversaire en pénétrant dans sa « boucle de décision⁽³¹⁾ », de tirer le maximum des possibilités offertes

(28) Entretien avec des experts militaires.

(29) Entretien avec des experts civils.

(30) Bowden, « The Last Ace », *op. cit.*

(31) Voir John R. Boyd, *Patterns of Conflict*, décembre 1986, <http://www.dnipogo.org/boyd/pdf/poc.pdf>

par la technologie, ou encore de savoir reconnaître et exploiter les moindres erreurs de l'adversaire. Si le rattrapage technologique peut réduire un différentiel capacitaire, seule l'association de l'expérience et de l'entraînement est à même de contribuer au rattrapage tactique de l'adversaire, et ce processus s'étale généralement sur des durées plus longues – sauf à la limite lors des périodes d'activité militaire intense et prolongée⁽³²⁾. L'avantage tactique dont disposent aujourd'hui les forces occidentales, et leur capacité à agir aussi harmonieusement que possible en coalition, doivent donc plus que jamais être entretenus par la poursuite d'entraînements couvrant tout le spectre des missions aériennes, y compris des *scénarii* du fort au fort. Tandis que les États-Unis ont moins tendance qu'auparavant à s'entraîner dans le cadre de *scénarii* les opposant à un adversaire de quantité et/ou de qualité égale, la France a maintenu cette habitude avec ses alliés⁽³³⁾. S'entraîner dans un cadre symétrique, en permettant le maintien et le perfectionnement de savoir-faire tactiques parfois requis en opérations, constitue une condition essentielle à une éventuelle remontée en puissance pour faire face au retour éventuel d'une menace air-air. En parallèle aux pratiques françaises, il paraît crucial d'encourager les alliés à maintenir un haut degré d'exigence tactique pour les entraînements multinationaux.

Enfin, le corollaire indispensable de la sauvegarde de telles capacités à un niveau national et multinational est la poursuite d'un effort de veille par les services de renseignement, focalisé en particulier sur les adversaires potentiels susceptibles de se doter de missiles à longue portée et de radars AESA, qui viserait à évaluer l'évolution qualitative et quantitative de leurs entraînements et exercices air-air (fréquence et réalisme des exercices, nature des missions faisant l'objet des entraînements, budget consacré, nombre moyen d'heures d'entraînement des pilotes, etc.).

Une dernière réponse pourrait être envisagée dans l'hypothèse où la réémergence de menaces air-air se traduirait par une diffusion de chasseurs à faibles SER. Elle impliquerait d'investir à nouveau dans des capacités défensives conçues pour maximiser les chances de détection de ce type de plateformes. Les forces aériennes occidentales sont depuis deux décennies engagées dans des opérations expéditionnaires où elles bénéficient de la supériorité aérienne. Elles n'ont donc pas eu à protéger leurs bases aériennes avancées contre des menaces plus sophistiquées que des missiles balistiques rustiques et des chasseurs en situation de nette infériorité qualitative et quantitative. Si le *Sukhoi T-50* tient ses promesses, tant en termes de performances que de coût, sa diffusion vers des pays autres que la Russie et l'Inde pourrait être envisageable relativement vite après sa mise en service, et des besoins de protection face à la réémergence de menaces OCA pourraient se manifester, tant sur les théâtres extérieurs que sur le territoire national. Parmi les options envisageables figureraient ainsi celles aujourd'hui développées par les pays désireux

(32) Corentin Brustlein, *Innovations offensives et puissance militaire au vingtième siècle*, thèse de doctorat en science politique, université Jean-Moulin Lyon 3, 2012, p. 76-84 ; Williamson Murray, *Military Adaptation in War. With Fear of Change*, Cambridge, Cambridge University Press, 2011.

(33) Entretien avec des experts militaires.

de se protéger des chasseurs de 5^e génération américains, tels que des capteurs passifs bi- ou multi-statiques, ou encore des radars AESA de défense aérienne capables d'émettre dans une bande de fréquences plus large (notamment dans les bandes S et L), qu'ils soient basés à terre ou embarqués à bord d'appareils de type *Conformal Airborne Early Warning* (CAEW) israéliens⁽³⁴⁾.

D'ici à l'horizon 2025-2030, il est donc possible d'identifier une tendance au renforcement des menaces air-air, lié à la démocratisation de certaines technologies et au croisement des courbes budgétaires. À l'échelle des forces aériennes occidentales prises dans leur ensemble, de tels développements n'apparaissent pas à même de remettre en cause de manière significative les équilibres actuels au seul niveau aérien. À une échelle française, néanmoins, une telle évolution est plus préoccupante. La stagnation de l'Europe de la défense, la démilitarisation du continent et la possibilité d'un désengagement prononcé des États-Unis d'ici dix à vingt ans interdisent de négliger des développements dans le domaine air-air qui pourraient être potentiellement significatifs et, par là même, de négliger également des options permettant d'enrayer cette érosion de notre supériorité aérienne face à des adversaires régionaux.

Les périodes de restriction budgétaire imposant une hiérarchisation des priorités, faudrait-il donc chercher à renforcer la contribution française à la domination aérienne face aux menaces air-air ou, au contraire, s'efforcer de rééquilibrer l'armée de l'air vers des missions air-sol et, ce faisant, de réinvestir le domaine de la neutralisation des défenses aériennes ? Les progrès potentiels paraissent nettement plus considérables en matière de défenses sol-air que dans le domaine air-air, et tendent ainsi, de prime abord, à encourager un investissement spécifique en termes de SEAD. Il faut cependant se garder d'opposer ces deux axes possibles de développement de l'armée de l'air pour les prochaines décennies, en entrant dans des querelles inutiles. À l'échelle française en effet, les besoins capacitaires en réponse aux menaces air-air futures pourraient nettement converger avec ceux permettant de lutter contre le renforcement des défenses sol-air, sous la forme de développements liés à la guerre électronique (brouillage offensif, autoprotection, ROEM).

L'AVENIR DES MISSIONS SEAD

Aussi crucial que puisse apparaître le maintien d'une avance occidentale dans le domaine du combat air-air, celle-ci ne peut suffire à garantir la maîtrise du ciel par les forces aériennes de l'OTAN et leurs alliés à l'horizon 2030. Ainsi que l'histoire semble l'indiquer (*cf.* partie 1), la contestation de la puissance aérienne est plus souvent venue du sol que des airs. Le nouvel âge technologique des troisième et quatrième générations de systèmes SAM (*cf.* « Évolution

(34) Rebecca Grant, *The Radar Game. Understanding Stealth and Aircraft Survivability*, Mitchell Institute, 2010, p. 54.

capacitaire de la menace» *supra*) est peut-être l'un des principaux défis qui se pose aujourd'hui à la suprématie aérienne occidentale, incontestée depuis 1991. Dès lors, la neutralisation des défenses aériennes ennemies (SEAD) fait figure de mission critique pour les forces aériennes et doit, à ce titre, être intégrée à part égale dans les missions de supériorité aérienne (souvent limitées à tort au domaine air-air). Alors que les forces aériennes françaises souffrent, à l'instar de la quasi-totalité des pays européens⁽³⁵⁾, d'un déficit reconnu en termes de moyens dédiés, il convient d'analyser ici les caractéristiques d'un « modèle français » de SEAD leur permettant aujourd'hui de mettre en œuvre ce type de missions. Il s'agit ensuite d'en déduire les conditions de pérennisation et de remontée en puissance face à l'évolution prévisible de la menace dans les années à venir.

UN « MODÈLE FRANÇAIS » DE SEAD ?

L'absence de moyens SEAD dédiés a souvent été pointée du doigt comme l'une des principales lacunes capacitaires de l'armée de l'air française depuis la fin des années 1990⁽³⁶⁾. La France s'était pourtant dotée d'une panoplie relativement complète en la matière jusque dans les dernières années de la guerre froide : les *Mirage III*E et les *Jaguar* de la 3^e escadre étaient ainsi équipés non seulement de missiles antiradar AS-37 *Martel*, mais aussi des pods de brouillage offensif *Barracuda* — développés par Thomson-CSF — et *Barax* — par Dassault Électronique — ainsi que du lance-leurres à but défensif *Phimat*⁽³⁷⁾. Avec le retrait du service du *Martel* en 1999, la France a perdu en l'espace de dix années l'ensemble de ses capacités dédiées en matière de SEAD. Ceci étant, la disparition de moyens dédiés ne signifie pas que les forces aériennes françaises sont aujourd'hui inaptes à réaliser de telles missions : bien au contraire, l'évolution capacitaire vers des moyens polyvalents a permis l'émergence d'un « modèle français » de SEAD, distinct de l'approche américaine, et dont il convient d'analyser les caractéristiques et la soutenabilité.

(35) L'exemple français a ici valeur d'illustration de la plupart des forces aériennes occidentales en dehors des États-Unis. Cf. Sénat, *Avis n° 112*, présenté au nom de la Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées (1) sur le projet de loi de finances pour 2011, adopté Par l'Assemblée nationale, tome V, « Défense – équipement des forces », par MM. Xavier Pintat et Daniel Reiner, session ordinaire 2010-2011, enregistré à la présidence du Sénat le 18 novembre 2010, p. 78 et 83.

(36) Olivier Zajec, « Le trou capacitaire et opérationnel de la SEAD/DEAD. Bientôt dans les standards européens ? », *DSI*, n° 64, novembre 2010, p. 79-83 ; Yohan Droit, « Mission et capacités SEAD – Une perspective de l'armée de l'air », *Brèves du CESA*, septembre 2012, disponible à l'adresse : http://www.cesa.air.defense.gouv.fr/IMG/pdf/Mission_et_capacites_SEAD-_sept_2012.pdf

(37) Pierre-Alain Antoine, « Le Jaguar a partagé pendant 30 ans la guerre électronique avec ses frères », *Rubrique historique de Guerrelec*, n° 6, décembre 2005, p. 1-2.

Si, depuis le milieu des années 1970, la réponse structurelle de l'USAF aux défis sol-air et air-air a été le développement de plateformes furtives, l'armée de l'air française n'a pas opté pour une telle « stratégie génétique »⁽³⁸⁾. En dépit des mesures prises pour diminuer la surface équivalente radar (SER) du *Rafale* – matériaux composites absorbants, entrées d'air biseautées –, son fuselage à aile delta et plans canards est loin de répondre aux critères de furtivité, ne serait-ce que par la présence de points d'emport situés sous les ailes de l'appareil⁽³⁹⁾.

À défaut de furtivité, c'est donc un « concept défensif »⁽⁴⁰⁾, reposant sur les capacités dites d'autoprotection et d'évitement, qui a constitué le cœur de la stratégie industrielle française dans l'optique de la pénétration d'espaces contestés – à ce titre la problématique sol-air rejoint largement les défis de la suprématie air-air. À la manière du *Radar Warning Receiver* (RWR) situé à bords des chasseurs américains de 4^e et 5^e générations (F-15, F-16, F/A-18, F-22, F-35), l'armée de l'air bénéficie de capacités d'autoprotection avancées sous la forme du Système de protection et d'évitement des conduites de tir du *Rafale* (SPECTRA). Implantée en dix endroits différents de l'appareil, la suite électronique développée par Thales et MBDA fonctionne sur le couple détection/contre-mesures. La fonction de détection de la menace se compose de radars passifs, de détecteurs d'alerte laser (DAL) ainsi que de détecteurs de départ missile (DDM) infrarouges, couvrant chacun l'intégralité des secteurs angulaires autour de l'avion. Les contre-mesures couvrent également une grande partie du spectre électromagnétique avec trois brouilleurs défensifs à antenne active couvrant une large bande (4-40 GHz) et deux lance-paillettes *Spirale* intelligents (coupant des paillettes en fonction de la longueur d'onde des radars à leurrer) contre les vecteurs à guidage radar, et enfin quatre lanceurs modulaires destinés à contrer les guidages infrarouges⁽⁴¹⁾. Employé en Afghanistan dès 2007, puis dans le ciel libyen lors de l'opération *Harmattan* en 2011 et plus récemment au cours de l'exercice interallié MACE XIII en avril 2012, SPECTRA semble avoir pleinement démontré son efficacité, y compris apparemment face à des systèmes extrêmement performants tels que le

(38) Joseph Henrotin, *La stratégie génétique dans la stratégie des moyens*, coll. « Les Stratégiques », ISC, Paris, 2004. La notion de stratégie génétique est empruntée au lieutenant-colonel Becam, « La manœuvre génétique », *Forces aériennes françaises*, n° 152, 1959, p. 6.

(39) Sur le développement et l'avenir de la furtivité cf. « Contester la supériorité aérienne occidentale dans l'après-guerre froide », « Tendances générales de la contestation de la supériorité aérienne », et « Maintenir l'avance occidentale en affrontement symétrique ».

(40) « Quelle guerre électronique aujourd'hui en France ? », *Lettre d'information de Guerrélec*, n° 41, juin 2010, p. 7.

(41) « SPECTRA », *Jane's Radar and Electronic Warfare Systems (online)*, 24 novembre 2012, p. 2.

S-300P (SA-10B)⁽⁴²⁾. Les succès reconnus de SPECTRA semblent aujourd'hui représenter un véritable aboutissement du pari français sur l'autoprotection.

Le concept français reste cependant essentiellement défensif et, au contraire de la furtivité développée par l'USAF, n'est aucunement prévu pour pénétrer un SDAI avancé, composé d'un grand nombre de radars, *a fortiori* si ces derniers bénéficient de la technologie AESA⁽⁴³⁾. Les capacités d'autoprotection sont notamment bornées par le dimensionnement physique des équipements. Aussi les systèmes de contre-mesures aéroportés sont-ils en infériorité face aux systèmes sol-air qui, bien que soumis à un impératif de mobilité, sont nettement moins contraints en termes de poids, de volume, et donc d'énergie et de puissance de calcul. C'est donc bien la combinaison de la manœuvre, du brouillage, des leurres et de l'adaptation des tactiques aux capacités de l'adversaire du jour qui permet d'atteindre le niveau de liberté recherché⁽⁴⁴⁾.

DES CAPACITÉS DEAD RÉELLES MAIS LIMITÉES

Si les capacités de détection avancées et d'autoprotection des forces aériennes françaises ne leur permettent pas aujourd'hui de mettre en œuvre une campagne de neutralisation des défenses aériennes ennemies de grande ampleur, elles offrent néanmoins la possibilité de procéder à des destructions physiques des systèmes SAM dès leur position confirmée, une mission connue sous le terme de DEAD (*destruction of enemy air defenses*).

En Libye, l'opération *Harmattan* a ainsi vu les forces françaises, assistées de leurs alliés américains et britanniques, mettre en œuvre une campagne de DEAD relativement systématique afin de mettre en œuvre la zone d'interdiction aérienne (*no-fly zone*) prévue par la résolution 1973 du Conseil de sécurité des Nations unies. Bénéficiant de la supériorité informationnelle grâce aux appuis ISR de la coalition, de la manœuvrabilité importante des plateformes *Rafale* et *Mirage 2000*, et enfin des moyens de frappe de précision offerts par l'armement air-sol modulaire (AASM), les forces françaises ont pu engager avec succès la défense sol-air libyenne. Dans les premiers jours de l'opération, les *Rafale* ont ainsi neutralisé un site de missiles S-125 (SA-3) par le tir d'AASM en dehors du «SAM ring», c'est-à-dire de l'enveloppe du système⁽⁴⁵⁾.

L'armée de l'air s'était également préparée à attaquer des systèmes 9K33 *Osa* (SA-8) mobiles et potentiellement dissimulés par les forces loyalistes du colonel Kadhafi. Le système SPECTRA semble particulièrement bien adapté à ce type de menaces isolées et relativement bien connues (*cf.* « Un nouvel âge

(42) Bien que le bilan de l'exercice MACE reste classifié à ce jour, une source a récemment fait part des bons résultats du système face au S-300, «MACE XIII against SA-10 – aka S300», *Russian Military Forum*, 12 avril 2013, disponible à l'adresse : <http://www.russiadefence.net/t2447-mace-xiii-against-sa-10-aka-s300/>

(43) «SPECTRA on *Rafale*, good or bad?», *Strategypage.com*, 22 février 2011, disponible à l'adresse : <http://www.strategypage.com/militaryforums/6-75209.aspx#startofcomments/>

(44) Entretien avec des experts militaires.

(45) Le S-125/SA-3 a une portée d'engagement d'environ 35 km, contre 55 km pour l'AASM, cité in Philippe Wodka-Gallien, «Dans le ciel de Libye», *Lettre d'information de Guerrelec*, n°43, juin 2011, p. 6.

technologique sino-russe pour les systèmes de SAM » *supra*). Dès que l'appareil est repéré par le radar d'engagement du SAM, SPECTRA détecte, triangule et affine les coordonnées de la menace, les transmet à l'optronique-secteur frontal (OSF) et permet ainsi à la munition guidée de détruire la cible, le tout de manière autonome⁽⁴⁶⁾.

Tout comme dans le cas de l'autoprotection, le modèle d'engagement français repose ici sur des capacités réelles mais qui ne sauraient aucunement couvrir la totalité du spectre conflictuel. S'il est en effet possible pour une bombe AASM d'engager un SA-3 en dehors de son enveloppe, la munition pourrait vite s'avérer insuffisante face à un grand nombre de systèmes stratégiques, modernes ou dissimulés⁽⁴⁷⁾. Dès lors, seule une pénétration à l'intérieur de l'enveloppe, et donc une prise de risque tactique, permettrait au chasseur de détruire sa cible. Cette capacité manœuvrante constitue le troisième pilier du « modèle français ».

MANŒUVRE TACTIQUE ET PRISE DE RISQUE

Il est important de prendre en compte que la technologie n'est pas la seule méthode de pénétration des défenses aériennes ennemies. La ruse pas davantage que les tactiques évasives ne nécessite d'armements spécifiques ; est requis à l'inverse un entraînement important à ce type de manœuvres, délicates et potentiellement risquées mais qui peuvent se révéler très efficaces, surtout contre des systèmes isolés et mal intégrés. Une ruse classique consiste par exemple à pénétrer dans la zone couverte par un radar de surveillance sans pour autant être à portée de tir d'une batterie, détournant ainsi l'attention de l'opérateur tandis que quelques appareils pénètrent sur un autre pan du secteur pour venir frapper le système⁽⁴⁸⁾.

La portée d'un missile se trouvant réduite dans les basses couches par la plus grande densité de l'air, le vol à très basse altitude – si possible en dessous de l'altitude minimum du radar d'engagement – et l'utilisation des masques terrain et d'une « intervisibilité » favorable, figurent également parmi les tactiques employées de manière générique par les forces françaises pour accomplir les frappes malgré la présence de SAM. Le simple évitement tactique consistant à agir en dehors de l'enveloppe de la menace telle qu'elle a été identifiée et localisée au moyen de plans de vol optimisés est également une forme de manœuvre apparemment simple, mais pas nécessairement partagée par tous les alliés⁽⁴⁹⁾.

L'analyse initiale du théâtre libyen a fait surgir des divergences entre la France et les Américains en termes de concept d'opération SEAD. Ces derniers considéraient entre autres que tant qu'un système SAM était déployé, il devait être considéré comme actif. Disposant de moyens SEAD pléthoriques (plateformes dédiées, brouilleurs offensifs, munitions antiradar, ISR abondant, etc.),

(46) Entretien avec un expert militaire.

(47) SA-2, SA-4, SA-5, SA-10, SA-12, SA-20, SA-21 et SA-23 sont tous hors de portée de l'AASM.

(48) Entretien avec des experts militaires.

(49) *Ibidem*.

et habituées à agir sous leur protection, les forces aériennes américaines ont semblé moins enclines à la manœuvre. La vision française insistait au contraire sur l'urgence de la situation autour de Benghazi, qui requerrait une action dans un délai de quelques heures. Il a été jugé que le risque induit par l'intervention serait maîtrisé : la reconstitution de l'OdBE par la campagne ISR était jugée suffisamment complète et fiable pour établir la liste des systèmes opérationnels et suivre une voie qui n'entraînerait qu'une prise de risque mesurée. La France estimait ainsi, au regard de l'OdBE, que les SA-5 libyens n'étaient pas actifs et que les appareils effectuant l'entrée en premier ne seraient confrontés qu'à des SAM de type SA-3, SA-6 et SA-8 – des systèmes parfaitement maîtrisés par les équipages. La France estimait également que la Libye ne disposait pas d'un système en état de fonctionner de manière intégrée.

Une fois encore, le « modèle français » de SEAD paraît original et efficace au regard de l'approche américaine et de l'accumulation capacitaire qui la caractérise. Il est cependant légitime de se demander si un tel modèle de « chat maigre », cher à la tradition française, ne risque pas de trouver ses limites face à un environnement en mutation et une menace dont les performances évoluent sans cesse.

LE « MODÈLE FRANÇAIS » EST-IL SOUTENABLE ?

Si l'opération *Harmattan* a montré les capacités françaises en matière de SEAD, malgré l'absence de moyen dédié, elle n'en a pas moins souligné sans équivoque la dépendance majeure qui persistait dans de nombreux domaines tels que l'ISR en temps réel ou encore l'attaque électronique, autant de capacités qui ont été assurées par les Américains tout au long de la campagne⁽⁵⁰⁾.

Par ailleurs, si le « modèle français » de SEAD, tel que pratiqué actuellement, semble tenable face à des systèmes mal intégrés de première ou deuxième génération, on peut s'interroger quant à son efficacité face à des SDAI avancés recourant à des tactiques radars « non-coopératives », et à des batteries à longue portée et mobiles. Les capacités actuelles françaises – au même titre que celles des autres nations européennes – sont louables pour leur polyvalence, mais demeurent en décalage avec les ambitions affichées au plus haut niveau. Le *Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale* de 2013 et divers documents de référence continuent de présenter « l'entrée en premier » comme un ensemble de capacités qui doivent être détenues au niveau national, de manière à pouvoir légitimement prétendre au statut de nation-cadre lors d'opérations de projection de forces⁽⁵¹⁾. Si telle est réellement l'ambition française,

(50) Jean-Christophe Notin, *La vérité sur notre guerre en Libye*, Paris, Fayard, 2012.

(51) Direction de l'information légale et administrative, *Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale*, Paris, 29 avril 2013. Précisons cependant l'ambiguïté qui perdurait jusqu'à récemment dans les documents de référence quant à la définition précise de la notion d'entrée en premier. Cette confusion sémantique persistante dans les cercles décisionnaires a peut-être une part de responsabilité dans le déficit actuel en matière de SEAD. Ce déficit a commencé à être comblé avec la publication par le CICDE de la *Réflexion doctrinale interarmées 2014/002, Entrée en premier*, 1^{er} avril 2014, Paris, ministère de la Défense. Pour une approche du concept et des moyens requis, lire Corentin Brustlein, « Vers la fin de la projection de forces ? II. Parades opérationnelles et perspectives politiques », *Focus stratégique*, n° 21, mai 2010.

alors force est de constater que les moyens actuellement mis à la disposition de l'armée de l'air sont insuffisants. Dans la perspective d'une remontée en puissance, et sans pour autant prendre comme cadre de référence l'accumulation capacitaire américaine, il semble donc légitime de s'interroger sur la possibilité de maintenir, de renforcer ou de développer les trois grands types de capacités suivants : l'ISR, les frappes à distance de sécurité et l'attaque électronique.

MAINTENIR DES CAPACITÉS ISR AVANCÉES

Depuis l'avènement de l'âge du missile, la capacité occidentale à neutraliser les défenses aériennes ennemies a reposé, dans une large mesure sur la domination du champ informationnel, généralement regroupé sous le terme d'ISR. Si les forces aériennes occidentales disposent aujourd'hui d'une suprématie relativement bien établie en la matière, il importe de maintenir ces capacités, y compris à l'échelon national, sous peine de voir s'effondrer toute la chaîne opérationnelle dans le domaine SEAD⁽⁵²⁾.

COMMENT MAINTENIR UN ISR PERSISTANT EN ENVIRONNEMENT NON PERMISSIF ?

Les opérations d'entrée en premier sont, plus encore que d'autres, dépendantes de grandes quantités d'information nécessaires à leur planification⁽⁵³⁾. Représentant classiquement environ 10% des sorties de combat dans une campagne aérienne, le taux de « sorties ISR » peut rapidement monter à 30% dans le cas d'opérations dites d'entrée en premier, nécessitant une planification plus importante⁽⁵⁴⁾. Les frappes de précision dans la profondeur et à distance de sécurité, tout comme les plans de vols des appareils de pénétration sont entièrement dépendants des capacités de ciblage et d'acquisition de cibles permises par l'observation satellite (géolocalisation, imagerie) et aérienne (capteurs SAR/GMTI, optiques). De la même manière, le renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) est absolument nécessaire au calibrage des systèmes de protection, des armes d'attaque électronique (cinétiques ou non) et à l'identification des zones de danger. Enfin, le renseignement humain reste à ce jour un facteur important pour l'ensemble des missions aériennes, y compris dans le domaine SEAD (par exemple pour la localisation de systèmes d'armes à faible signature radar, visuellement dissimulés et extrêmement mobiles).

Avant l'engagement, les capacités ISR sont requises pour établir l'ordre de bataille électronique adverse, prérequis à toute tentative raisonnable d'entrée sur un théâtre. Pendant les deux semaines précédant le déclenchement de l'opération *Harmattan*, les forces aériennes françaises et britanniques ont ainsi

(52) La problématique spécifique du renforcement de la protection des moyens C4ISR aériens est abordée en détail dans « Renforcer la résilience des moyens C4ISR face aux menaces avancées », il ne s'agit ici que du maintien de capacités.

(53) Martin van Creveld, *Command in War*, Cambridge, Harvard University Press, p. 258.

(54) « Allocution du général Philippe Steininger, conseiller auprès du SG au SGDSN », non daté, p. 6, disponible à l'adresse : http://www.cesa.air.defense.gouv.fr/IMG/pdf/Intervention_de_Philippe_Steininger.pdf

mené une campagne ISR intense⁽⁵⁵⁾. La fonction des moyens ISR est alors de trouver les objectifs, de les identifier le plus sûrement possible, grâce en particulier à l'établissement dans la durée de *patterns of life* et, également, de déterminer le meilleur moment pour attaquer⁽⁵⁶⁾.

Les capteurs SAR et GMTI spécifiquement développés pour détecter des cibles mouvantes, dites *dynamic targets*, sont assurément des capacités centrales dans la perspective d'une chasse aux systèmes SAM courte et moyenne portées à forte mobilité. Face à ce type de défis, les drones semblent logiquement les plateformes d'avenir en raison de leur persistance. À ce titre, l'absence de drones HALE de type *Global Hawk* fait certainement figure de lacune capacitaire importante pour la France dans la perspective de l'entrée en premier.

L'impératif de la « préservation du potentiel humain »⁽⁵⁷⁾ fait de ces appareils pilotés à distance des plateformes idéales pour des missions à haut risque, ne nécessitant pas toujours une manœuvrabilité importante, et parfois mal considérées au sein de la communauté des pilotes (un ensemble de contraintes regroupées sous l'expression « *Dull, Dangerous and Dirty* »)⁽⁵⁸⁾. Par ailleurs, et contrairement aux moyens d'observation spatiale ou à forte élongation, l'emploi de drones MALE, évoluant à moyenne altitude (entre 10 et 20 000 pieds), permet d'accroître la précision des données recueillies – et ce quelle que soit la partie du spectre concernée – et d'améliorer considérablement le suivi des cibles mouvantes (notamment *via* l'emploi de la *full motion video*). Enfin, et c'est peut-être le plus critique, la disparition des contraintes physiologiques humaines en termes d'endurance en vol ou de résistance structurelle, offre une persistance sans commune mesure avec les plateformes habitées. Ainsi, le SIDM/Harfang peut voler jusqu'à 21 heures – même si les temps de recueil sont dans la pratique extrêmement variables, en fonction de la durée du transit⁽⁵⁹⁾.

Il existe cependant des limites à l'emploi systématique des drones pour assurer les missions ISR. Ainsi l'opération *Harmattan* a-t-elle largement mis en évidence la pression en termes de bande passante⁽⁶⁰⁾. Le pilotage à distance mais surtout la transmission des informations recueillies par les capteurs ont en effet vite dépassé les capacités prévues à cet effet. On estime aujourd'hui que si l'on devait utiliser le satellite de communication *Syracuse* pour le *Harfang*, les besoins de ce dernier utiliseraient toute la bande passante disponible⁽⁶¹⁾. Cette dépendance aux moyens de communication peut engendrer une certaine vulnérabilité du système à deux niveaux : tout d'abord pour l'accès aux res-

(55) Entretien avec des experts militaires.

(56) « Allocution du général Philippe Steininger », *op. cit.* p. 6.

(57) État-major des armées, CIA 3.3.12, *Emploi des systèmes drones aériens*.

(58) Poduval, *Electronic Warfare*, *op. cit.*, p. 65-66.

(59) Intervention du lieutenant-colonel Fontaine (1/33 Drones) lors de l'atelier de CESA « L'armée de l'air en Libye », 6 décembre 2011.

(60) Jean-Dominique Merchet, « Libye : "Le rôle déterminant des drones armés" », blog secret-défense, 15 septembre 2011, disponibles à l'adresse : http://www.marianne.net/blogsecretdefense/Libye-le-role-determinant-des-drones-armes_a368.html

(61) Entretien avec des experts militaires.

sources spectrales et satellitaires déjà saturées et ensuite face au risque de rupture de transmissions, de brouillage, d'interception voire de prise de contrôle du vecteur aérien⁽⁶²⁾.

De manière plus spécifique, l'emploi systématique de drones pour des missions ISR destinées à préparer la mise en œuvre d'opérations SEAD pose la question de la survivabilité de ces plateformes dans des environnements non permissifs. En attendant la mise en œuvre de drones à très faible SER, manœuvrant et équipés d'excellentes capacités ISR actives et passives (projet américain RQ-180), une campagne d'ISR en vue d'une entrée en force ne saura *a priori* se reposer sur les seules plateformes non habitées⁽⁶³⁾. Une alternative pourrait consister à développer des charges ou des mini-drones dotés de capteurs mais peu onéreux et donc perdables, et qui puissent être mis en œuvre par des *Rafale*.

LA QUESTION CRUCIALE DU RENSEIGNEMENT D'ORIGINE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Parmi l'ensemble des capacités ISR nécessaires à la mise en œuvre de missions SEAD, le ROEM est naturellement un secteur particulièrement critique, dès lors qu'il contribue de manière essentielle à l'établissement de l'ordre de bataille électronique (OdBE), à partir duquel sont calibrés les moyens d'attaque électronique mais également les systèmes d'autoprotection. Les Américains établissent là encore le standard capacitaire, avec notamment l'utilisation des RC-135 *Rivet Joint*, une large gamme de satellites d'écoute électronique et la présence de capteurs ROEM à bord d'un grand nombre de plateformes (à la manière des *Electronic Support Measures* de l'E-3 *Sentry* AWACS ou encore de certains capteurs montés sur les RQ-9 *Reaper*).

De ce point de vue, le large éventail de capacités dont disposent encore les forces aériennes françaises ne doit pas cacher un avenir qui reste incertain. Le premier atout français en termes de ROEM est sans aucun doute le *Transall* C-160 *Gabriel*, dernier appareil de recueil d'information électronique dédié après le retrait du SARIGuE-NG en 2004 du fait de ses coûts d'usage trop élevés. L'avenir même du *Gabriel* semble aujourd'hui incertain, alors que ce dernier est censé arriver en fin de vie en 2018 et ne dispose d'aucun remplaçant connu⁽⁶⁴⁾. En mars 2013, le consortium *Jane's Information Group* rapportait toutefois la possibilité d'un développement d'une version ROEM de l'A400M *Atlas*⁽⁶⁵⁾.

L'OdBE est aussi déterminé par l'utilisation des pods de type *Astac*, aujourd'hui opérés par les *Mirage* F1-CR, également en fin de vie, puis par les *Mirage* 2000-D à partir de 2014. Ces pods sont notamment chargés d'identifier

(62) État-major des armées, CIA 3.3.12, *op. cit.*, p. 49.

(63) Michael Franklin, « Unmanned Combat Air Vehicles : Opportunities For The Guided Weapons Industry? », Royal United Services Institute for Defence and Security Studies, *Occasional Paper*, septembre 2008, p. 2.

(64) Entretien avec un expert militaire.

(65) « Transall C.160G Gabriel Signals Intelligence variant », *Jane's CAISR & Mission Systems (online)*, 19 mars 2013.

et de localiser les émissions radars de la défense sol-air⁽⁶⁶⁾. À terme, SPECTRA devrait théoriquement prendre le relais, mais ses capacités à assurer un renseignement de même qualité restent à déterminer⁽⁶⁷⁾.

Enfin, se pose la question du ROEM satellitaire et avec elle celle du remplacement du démonstrateur spatial ELISA, dont la fin de la période d'exploitation est prévue pour 2015. La loi de Programmation Militaire votée en 2013 prévoit notamment de le remplacer par le programme CERES (capacité de renseignement électromagnétique spatiale), dont l'objectif est de « détecter, localiser et caractériser depuis l'espace les signaux envoyés par les systèmes adverses, notamment les émetteurs de télécommunications et les radars »⁽⁶⁸⁾. Une telle capacité devrait permettre à la Direction du renseignement militaire (DRM) de mettre à jour la connaissance des défenses ennemies et d'aider à la mise en place de contre-mesures, notamment *via* l'alimentation de bases de données de SPECTRA. Une telle capacité complète les moyens ROEM aériens, dans la mesure où elle permet de couvrir des zones hors de portée de ceux-ci, tout en respectant la souveraineté territoriale de par le statut international de l'espace extra-atmosphérique. Initialement envisagé dans un cadre européen, CERES n'a pas trouvé d'autre partenaire que la France, ce qui confrontait celle-ci à la perspective d'un financement purement national⁽⁶⁹⁾. Du maintien de telles bases de données dépend l'efficacité d'une composante centrale du modèle français de SEAD, à savoir l'autoprotection. Il conditionne également toute montée en puissance potentielle dans le domaine de l'attaque électronique.

RENSEIGNEMENT ET ENTRAÎNEMENT : DEUX CAPACITÉS LIÉES

Il convient enfin de rappeler l'importance des moyens ISR (et notamment dans leur dimension renseignement) pour alimenter les programmes d'instruction et surtout d'entraînement en termes de mission SEAD. Que l'on se place dans une perspective manœuvrière à la française ou dans une logique de domination à l'américaine, il est clair que l'entraînement aux opérations de SEAD constitue une part essentielle du succès de telles missions⁽⁷⁰⁾.

De ce point de vue, le polygone de guerre électronique (PGE) franco-allemand en usage aujourd'hui par les forces semble être un dispositif daté, dans lequel seuls les SA-6 et les SA-8 existent sous la forme de systèmes réels, le reste étant des simulateurs. La lutte contre des systèmes sol-air, particulièrement

(66) Une version anti-radar de l'AASM est envisagée, mais n'est pas financée à ce jour. Cf. « AASM – fiche Technique », *Ixarm*, consulté le 23 avril 2010, accessible à l'adresse : <http://www.ixarm.com/Fiche-technique,18987> ; Jean-Marc Tanguy, « Les carences françaises, selon le général Gaviard », *Le Mamouth*, 28 avril 2009, accessible à l'adresse : <http://lemamouth.blogspot.com/2009/04/les-carences-francaises-selon-le.html>

(67) Entretien avec un expert militaire.

(68) Domitille Bertrand, « Programme Ceres, un nouveau pas dans la détection de signaux électromagnétiques », 23 mars 2012, disponible à l'adresse : <http://www.defense.gouv.fr/actualites/dossiers/espace-militaire/cooperation-internationale-et-avenir-recherche-et-developpement/developpement-et-programmes-futurs/programme-eres-un-nouveau-pas-dans-la-detection-de-signaux-electromagnetiques>

(69) « ROEM spatial : l'heure des choix », *TTU*, n° 871, 19 décembre 2012, p. 1.

(70) Entretien avec des experts civils.

contre des SDAI, requiert un entraînement particulièrement poussé et la possession de moyens de récréer/simuler ces systèmes afin d'amener les équipages à une maîtrise tactique suffisante⁽⁷¹⁾.

En dehors du PGE, les forces aériennes françaises s'entraînent cependant occasionnellement contre les systèmes sol-air étrangers, y compris des systèmes intégrés (SDAI) très robustes, complétés par des guetteurs à vue et des MANPADS. L'armée de l'air s'entraîne contre tous les types de systèmes sol-air alliés, certains d'entre eux possédant des systèmes d'origine russe relativement récents. C'est d'ailleurs au cours de l'un de ces exercices, MACE XIII, en avril 2012, que l'armée de l'air française a pu se confronter, aux côtés de ses alliés de l'OTAN, aux systèmes S-300P (SA-10B) de l'armée de l'air slovaque – les résultats de cet exercice restant classifiés⁽⁷²⁾. Ce type d'initiatives doit assurément être maintenu et même étendu, mais il ne saurait pallier l'absence totale de plastrons de nouvelle génération, en dotation propre. À moyenne échéance, et compte tenu de l'évolution de la menace, seul un entraînement réaliste et régulier – et donc, par-delà les stratégies de renseignement permettant de les acquérir – va permettre de déterminer les failles des systèmes adverses et donc d'élaborer les techniques mais surtout les tactiques nécessaires au maintien du « modèle français » de SEAD, manœuvrier et performant.

RENFORCER LES CAPACITÉS DE FRAPPE EN PROFONDEUR

Comme l'a démontré le tir d'une salve de 110 missiles de croisière BGM-109 *Tomahawk* sur les sites fixes de la défense sol-air libyenne le 19 mars 2011, aux premières heures de l'opération *Odyssey Dawn*, les capacités de frappe en profondeur constituent aujourd'hui un instrument majeur des opérations d'entrée en force sur un théâtre aérien⁽⁷³⁾. En Europe, les forces aériennes et aéronavales britanniques et françaises possèdent depuis plusieurs années maintenant cette capacité, sous la forme des missiles de croisière SCALP-EG, dont on estime la portée à plus de 250 km – variable selon qu'il adopte un profil de vol furtif utilisant les masques de terrain⁽⁷⁴⁾. En dépit de ses qualités évidentes, le SCALP-EG reste cependant en dotation dans des quantités limitées : environ 500 exemplaires en France⁽⁷⁵⁾, soit près du double du volume tiré par les Américains dans les premiers jours de la campagne libyenne. Par ailleurs, il a été noté qu'il est à ce jour impossible de modifier la cible d'un SCALP une fois qu'il a été lancé (une liaison bidirectionnelle serait à l'étude)⁽⁷⁶⁾.

(71) Entretien avec des experts militaires.

(72) « NATO flies against S-300 at MACE XIII », *Journal of Electronic Defense*, juin 2012, p. 30.

(73) Notin, *La vérité sur notre guerre en Libye*, op. cit., p. 188.

(74) « SCALP-EG/Storm Shadow (Black Shaheen) and Apache », *Jane's Air Launched Weapons (online)*, 30 octobre 2012.

(75) Jean-Marie Collin, « La France SCALP la Libye ! », *Alternatives Internationales*, 25 mars 2011, disponible à l'adresse : <http://alternatives-economiques.fr/blogs/collin/2011/03/25/la-france-scalp-la-libye/>

(76) Entretien avec un expert militaire.

Même si les armées de l'air restent les premières concernées par cette capacité, les marines peuvent également contribuer de manière significative, bien que les missiles de croisière capables de frapper en profondeur n'existent pour l'heure qu'en nombre limité : le Royaume-Uni s'est ainsi doté d'une soixantaine de missiles *Tomahawk Block IV* afin d'équiper ses SNA, et la marine espagnole a initié les démarches permettant d'en acquérir une vingtaine, destinés à ses frégates F-100⁽⁷⁷⁾. La France a, quant à elle, fait le choix d'une capacité de frappe à longue distance produite indépendamment des États-Unis, sous la forme du missile de croisière SCALP naval, dont la portée maximale devrait être de 1 000 km⁽⁷⁸⁾. 150 missiles, au lieu des 250 prévus, devraient être achetés d'ici 2019 par le ministère de la Défense, destinés aux FREMM (entrée en service prévue en 2014-2015) et aux SNA *Barracuda* (entrée en service prévue en 2018)⁽⁷⁹⁾. Les forces navales européennes devraient pouvoir aligner au total une centaine de missiles de croisière capables de frapper à 1 000 km, déployés sur une douzaine de sous-marins. De tels moyens permettraient de renforcer considérablement les lacunes capacitaires dans le domaine de la SEAD, du fait de la furtivité des missiles et de la discrétion des sous-marins.

Pourtant, le volume d'une attaque sous cette forme demeure nécessairement limité, dans l'absolu et plus encore en situation, car il serait impossible de mobiliser tous les sous-marins porteurs de missiles de croisière en vue de participer à une mission donnée. Si l'objectif n'est pas d'obtenir un effet de surprise total à l'échelle du théâtre, particulièrement utile dans les opérations d'entrée en premier, le nombre de vecteurs disponibles croît rapidement, ne serait-ce qu'en comptant l'apport des frégates. Dans de telles circonstances, le cumul des missiles de croisière en dotation en Europe et capables de frapper des cibles terrestres à plus de 200 km devrait permettre aux forces européennes de contribuer significativement à une opération militaire – si tant est que leur emploi en masse soit jugé politiquement acceptable.

Enfin, une dernière problématique associée à l'emploi des missiles de croisière dans des missions SEAD est la vitesse de ces derniers : en dépit de l'adoption de profils de vol furtifs de type « *terrain hugging* », la vitesse de la plupart de ces munitions tirées en *standoff* reste subsonique, maintenant les missiles en situation de vulnérabilité face aux systèmes sol-air de nouvelle génération, capable de détecter et de détruire des cibles allant parfois jusqu'à Mach 2 (cf. « Évolution capacitaire de la menace » *supra*)⁽⁸⁰⁾. En conséquence, il paraît judi-

(77) Charles Hollosi, « SLCMs emerge as weapon of choice for deep strike », *Jane's Navy International*, mars 2009, p. 26-31. En cas de nécessité, l'Espagne pourra aussi doter de missiles *Tomahawk* ses futurs sous-marins S-80A. Richard Scott, « Spain's A-80A submarine comes up to surface », *Jane's Navy International*, décembre 2007, p. 26-31.

(78) Corentin Brustlein, « Le missile de croisière naval, un moyen pour quelle stratégie ? », in Centre d'études supérieures de la marine, *Le missile de croisière naval : Quelles ruptures ?*, colloque organisé le 10 mars 2011, p. 43-50.

(79) Daniel Reiner, Xavier Pintat et Jacques Gautier, *Projet de loi de finances pour 2014* : « Défense – équipement des forces et excellence technologique des industries de défense », Sénat, p. 81.

(80) Mort Rolleston, « Air Superiority », in Scott Jasper (dir.), *Securing Freedom in the Global Commons*, Stanford University Press, 2010, p. 141.

cieux de considérer deux options complémentaires, et qui pourraient être mises en œuvre l'une après l'autre, en fonction des possibilités budgétaires : on pourrait tout d'abord allonger la portée des AASM, afin d'améliorer leurs capacités face aux SAM modernes de portée moyenne ; dans un deuxième temps, il faudrait poursuivre les travaux en cours pour profiter de la généralisation à venir de technologies de missiles de croisière supersoniques voire hypersoniques (au-delà de Mach 5)⁽⁸¹⁾. Si l'on parvenait à en réduire les coûts, ces systèmes auraient un rôle central à jouer, car leur portée et leur vitesse leur permettraient de détruire les SAM à longue portée, même mobiles, une fois ceux-ci localisés.

DÉVELOPPER DES MOYENS D'ATTAQUE ÉLECTRONIQUE

Dernier pilier, mais non des moindres, des capacités dédiées à la neutralisation des défenses aériennes ennemies, les missions d'attaque électronique constituent probablement le champ dans lequel les moyens européens, et notamment français, gagneraient le plus à être développés. Ce domaine a en effet été assez largement désinvesti depuis le milieu des années 1990 par la plupart des alliés européens de l'OTAN et même, dans une certaine mesure, par l'USAF (suite à des arbitrages au cours desquels les investissements en matière de furtivité ont primé sur la guerre électronique), ne laissant guère que l'*US Navy* en pointe sur la question⁽⁸²⁾. L'attaque électronique repose sur une gamme relativement vaste d'outils qui se déploient sous deux formes principales : les frappes cinétiques visant à la destruction des sources d'émission électromagnétiques adverses (*hard kill*) et les attaques non-cinétiques visant à brouiller ou à dégrader les systèmes sans entraîner de dommages physiques (*soft kill*).

HARD KILL : L'AVENIR INCERTAIN DES ARMEMENTS ANTIRADAR

Au moment de son introduction en 1966 sous la forme de l'AGM-45 *Shrike*, le système de guidage antiradar est apparu comme révolutionnaire et comme un facteur majeur de rétablissement de l'avantage de l'attaque sur la défense SAM. Alors que la technologie gagnait en maturité avec l'AS-37 *Martel* français, l'ALARM britannique et surtout l'AGM-88 HARM américain, les contre-mesures techniques et tactiques se développaient également. Après avoir été abandonnée par la plupart des États⁽⁸³⁾ et agences, à l'exception de l'*US Navy* qui en dépendait pour ses opérations de SEAD, la problématique revient aujourd'hui sur le devant de la scène avec l'introduction, maintes fois retardée, d'une nouvelle version du HARM (baptisée *Advanced Anti-Radiation Guided Missile* ou AARGM) dont devrait dépendre largement l'avenir de la technologie antiradar.

(81) Sur ce point, lire Dennis Gormley, *Missile Contagion. Cruise Missile Proliferation and the Threat to International Security*, Annapolis, Naval Institute Press, 2008, p. 45 et suiv.

(82) Entretien avec des experts militaires.

(83) L'AS-37 *Martel* a été retiré du service en 1990 et son successeur l'AMRAT ne vit jamais le jour. L'ALARM britannique arrivera quant à lui bientôt en fin de vie. Entretien avec des experts militaires.

L'AGM-88E AARGM ET L'APPORT DES CCME

Au cours des années de l'après-guerre froide, les opérations *Desert Fox* (1998) au-dessus de l'Irak et *Force Alliée* (1999) au Kosovo avaient démontré les limites du missile HARM : en réduisant au maximum la durée d'émission de leur radar d'engagement (notamment en les éteignant immédiatement après le tir), les opérateurs SAM privaient non seulement l'antiradar de sa direction, mais mettaient également en danger l'ensemble des émetteurs présents à proximité – parmi lesquels de nombreuses cibles potentielles civiles ou amies⁽⁸⁴⁾.

Désormais seule à financer le projet, l'*US Navy* a donc mis en place un programme de modernisation sous le nom d'AARGM dès le début des années 1990. Ce nouveau système, produit par la firme ATK et testé par un premier escadron de F/A-18 depuis l'été 2012, est destiné à résoudre les principaux problèmes rencontrés par le HARM au cours de dernières années. En conservant ses atouts majeurs que sont sa vitesse supersonique et son guidage radar passif, cette mise à jour a complété le kit de guidage par un autodirecteur à centrale inertielle qui conserve la dernière direction connue en cas d'interruption de l'émission adverse⁽⁸⁵⁾. L'AARGM dispose également d'un kit GPS destiné à réduire la zone de frappe et d'un radar actif à ondes millimétriques pour le guider dans sa phase terminale⁽⁸⁶⁾. Ces dispositions dites *counter shutdown* sont complétées par un mode de ciblage à bord même de l'avion (*pre-brief mode*) qui lui permet de recevoir des coordonnées de cible transmises par des liaisons de données ou bien directement par le pod ROEM ALQ-218, lorsque celui-ci est opéré à partir d'un EA-18G *Growler*. Enfin, si l'AARGM ne peut recevoir de nouvelles coordonnées de cibles en cours de vol, il envoie à son appareil lanceur des informations précédant sa frappe et permettant de réaliser un *Battle Damage Assessment* qui se révèle de première importance face à une menace aussi évanescence qu'un système SAM mobile et dissimulé.

Alors que l'*US Navy* portait seule le projet antiradar depuis le début des années 1990, l'*Air Force* est récemment revenue dans la course via un programme de modernisation de ses AGM-88C opérés par ses F-16CJ — les chasseurs de l'USAF destinés à mettre en œuvre les missions SEAD. Ces appareils se sont vus dotés à partir de 2008 du pod AN/ASQ-213 *HARM Targeting System* (HTS) qui permet aux anciens HARM de restreindre leurs coordonnées de ciblage⁽⁸⁷⁾, tandis que le kit de mise à jour *HARM Control Section Modification* (HCSM) intègre un nouvel autodirecteur qui, sans avoir toutes

(84) Le 23 février 1991, un *Marine* en train de travailler sur un émetteur radar fut victime d'un tir fratricide d'un HARM détourné de sa cible initiale par des émissions imprévues, cité in Sanjay Poduval, *Electronic Warfare*, op. cit., p. 57 ; voir également John Haystead, « Pouncing the SAMs. Networking and UCAVs Modernize the Lethal SEAD Mission », *Journal of Electronic Defense*, novembre 2011, p. 32-44.

(85) David Isby, Lon Nordeen et Mark Ayton, « The Systems. Details of the Growler's major systems », *Air International*, vol. 84, n° 4, avril 2013, p. 44.

(86) Haystead, « Pouncing the SAM », op. cit., p. 33.

(87) « AN/ASQ-213 HARM Targeting System (HTS) », *Jane's CAISR & Mission Systems* (online), 19 novembre 2012.

les fonctionnalités de l'AARGM permet néanmoins d'éviter les principales faiblesses de l'AGM-88 originel.

DES PROBLÈMES PERSISTANTS

En dépit de ces progrès importants qui font des nouvelles versions du missile antiradar un système d'arme efficace et pertinent, de nombreux problèmes persistent et posent la question, sinon de la viabilité, du moins de l'intérêt réel d'entretenir une telle capacité dans un contexte budgétaire extrêmement contraint.

Un missile encombrant. Avec sa taille de plus de quatre mètres de long, l'AGM-88, quelle que soit sa version, est un missile encombrant qui n'est pas compatible avec les impératifs de la furtivité, imposant de porter l'ensemble des armements en soute et non pas sous les ailes. Seul le B-2 pourrait théoriquement embarquer en soute un HARM, qui ne peut entrer dans la soute d'un F-22 *Raptor*. C'est en partie à ce problème que cherchait à remédier le projet de la DARPA connu sous le nom de *Triple Target Terminator* (T3) qui visait à la production d'un missile polyvalent capable de remplacer en une munition l'AMRAAM et l'AARGM, mais le programme semble aujourd'hui suspendu⁽⁸⁸⁾. En l'absence de compatibilité avec les plateformes furtives, l'avenir de l'antiradar est fortement compromis, du moins au sein de l'USAF à l'horizon 2030.

Des contre-mesures électroniques et cinétiques. Un autre élément d'incertitude associé aux armements antiradar se rapporte à leur performance inconnue face à des radars à balayage électroniques actifs (AESA) : si le directeur passif de l'AGM-88 capte dans une large bande (400 MHz-10 GHz), il ne semble pas évident qu'il soit capable d'accrocher de manière suffisante une émission à sauts de fréquences aussi rapide, d'autant plus si l'on considère l'occupation sans cesse plus dense d'émissions diverses sur le spectre électromagnétique susceptibles de faire dévier l'autodirecteur⁽⁸⁹⁾. Plus encore, l'émergence à terme de radars sol-air passifs aurait pour effet immédiat de rendre la technologie antiradar définitivement obsolète – ne lui laissant aucune émission de valeur à cibler.

Cette incertitude en suggère une autre, à savoir la vulnérabilité face à des entreprises de déception plus ou moins avancées. Lors de l'opération *Force Allié* au Kosovo, les Serbes s'étaient évertués à essouffler le dispositif américain en suscitant un grand nombre de tirs préventifs. Si l'utilisation de vrais radars d'engagement était habituelle, l'emploi de leurres (*decoys*), parfois aussi fantaisistes que des fours à micro-ondes, aurait ainsi permis de multiplier les « tirs inutiles » d'un missile pourtant coûteux. Cette pratique du tir préemptif pose plus généralement la question des coûts d'emploi d'un tel armement.

(88) « T3 : Triple Target Terminator's Terminus », *Defense Industry Daily Staff*, 16 février 2012, disponible à l'adresse : <http://www.defenseindustrydaily.com/T3-DARPA-Looks-for-a-Triple-Target-Terminator-06645>

(89) Poduval, *Electronic Warfare*, *op. cit.*, p. 57 ; voir également « Chinese Air Defence Systems for Malaysia », 14 octobre 2005, disponible à l'adresse : <http://sgforums.com/forums/1164/topics/157360>.

Enfin, une incertitude existe également quant à la performance des missiles antiradar face aux antimissiles cinétiques présents sur les systèmes SAM de nouvelle génération, tel que le *Tor-M2* (SA-15D) dont les constructeurs se targuent qu'il peut arrêter un missile HARM (cf. « Des effecteurs plus performants et plus résiliens » *supra*). Bien qu'il soit extrêmement difficile de vérifier ces informations — aucun HARM n'ayant encore été tiré contre de tels systèmes — il est au demeurant possible que la seule vitesse supersonique du HARM/AARGM ne suffise plus à garantir son autoprotection.

Une portée insuffisante. La dernière faiblesse persistante des munitions antiradar est sans doute la plus évidente : leur portée qui, bien qu'améliorée dans les nouvelles versions, reste limitée à une centaine de km⁽⁹⁰⁾. Face aux nouveaux systèmes SAM stratégiques de type S-300PMU1/2, HQ-9/FT-2000 — sans parler du S-400 —, l'AGM-88 ne saurait donc aucunement représenter une solution de frappe à distance de sécurité.

FAUT-IL DÉVELOPPER UN ANTIRADAR FRANÇAIS ?

En dépit de ces limites nombreuses, les missiles antiradar devraient rester présents dans la panoplie des réponses aux contre-stratégies aériennes américaines. Plusieurs raisons expliquent cette persistance : d'abord une logique américaine d'accumulation capacitaire selon laquelle la combinaison des modes d'action complique de toute façon la tâche de la défensive ; ensuite parce que tous les adversaires n'ont pas des SDAI aussi sophistiqués que celui de la Chine, et enfin parce que l'antiradar reste intéressant face aux *pop-up threats*, menaces dont les radars ont été dissimulés jusqu'au dernier moment, mais demeurent susceptibles de prendre par surprise les forces aériennes à un moment où elles ont relâché la garde, par exemple lorsque les formations aériennes n'incluent plus de brouilleurs⁽⁹¹⁾.

Il semble dès lors légitime de s'interroger sur l'opportunité de développer, en France, une telle capacité antiradar⁽⁹²⁾. De fait, les compétences industrielles dans le domaine du guidage antiradar semblent encore exister en France⁽⁹³⁾ et un armement tel que l'AASM peut sembler le candidat idéal pour se voir doté d'un kit de guidage antiradar, en dépit d'une vitesse et d'une portée qui restent limitées au regard de la menace actuelle. À cet égard, une version sol-air du missile transhorizon de combat aérien METEOR serait également une voie à explorer⁽⁹⁴⁾. Compte tenu toutefois des contraintes budgétaires françaises actuelles et prévisibles pour plusieurs années, et des limites très réelles qui affectent l'approche cinétique, le développement d'un successeur au

(90) « Plus de 111 kilomètres » selon l'annuaire *Jane's C4ISR & Mission Systems : Air (online)*, « Alliant Techsystems (ATK) AGM-88E Advanced Anti-Radiation Guided Missile (AARGM)/Affordable REactive Strike missile (ARES) », 8 octobre 2012, p. 3.

(91) Entretien avec des experts civils.

(92) Jean-Vincent Legrand, « L'avenir de la mission SEAD : la réponse AASM », *Lettre d'Information de Guerrelec*, n° 39, novembre 2009, p. 7.

(93) Entretien avec des experts civils.

(94) Entretien avec un expert militaire.

AS-37 *Martel* ne représente pas une priorité immédiate, ni même forcément la piste la plus intéressante à développer pour l'armée de l'air à plus long terme. Avant de relancer le développement d'une arme antiradar, il conviendrait en effet au minimum de s'assurer que les capteurs passifs permettent « d'accrocher » des radars d'engagement modernes et que le kit de guidage puisse être ajouté à un coût raisonnable à l'AASM ou au METEOR. Aussi est-il sans doute préférable de laisser les Américains payer le « coût du premier entrant » et de vérifier de cette manière si le missile antiradar au sens strict a encore un avenir. À plus court terme, les capacités d'attaque électronique non cinétique semblent en effet constituer l'option la plus intéressante. Quelle que soit la voie finalement retenue, il va falloir réfléchir en termes de famille de systèmes concourant ensemble à la mission SEAD, depuis les drones-leurres ou tueurs et les UCAV pénétrants pour la partie cinétique, jusqu'à la gamme des capacités non cinétiques existantes ou à venir (impulsion électromagnétique, brouillage, attaque cybernétique).

SOFT KILL : DU BROUILLAGE OFFENSIF À LA CYBER-SEAD

Le brouillage offensif et ses avatars cybernétiques constituent aujourd'hui un champ plein d'avenir massivement réinvesti par les grandes puissances militaires du XXI^e siècle. En dépit des importants coûts d'investissements qu'il pourrait exiger, il reste peut-être à ce jour la seule réponse adaptative – et à la portée technologique d'une puissance moyenne⁽⁹⁵⁾ – qui soit potentiellement capable de répondre à moyen terme à la progression de la menace.

L'AVENIR DU BROUILLAGE OFFENSIF

Contrairement au brouillage défensif, participant de la logique de l'auto-protection (cf. « Un "modèle français" de SEAD » *supra*), le brouillage offensif est un moyen de domination de milieu, censé permettre la pénétration d'un SDAI disposant de radars multiples. Il constitue à ce titre une alternative à la furtivité — c'est du moins ainsi que l'a interprété l'*US Navy* qui a fortement investi dans ce domaine depuis plusieurs décennies et invoque cet argument dans ses querelles budgétaires avec l'*Air Force*. Une telle capacité implique de pouvoir saturer les radars adverses par des émissions électromagnétiques considérablement plus puissantes que les émissions radars, de sorte que le retour soit noyé dans le « bruit » produit par les brouilleurs⁽⁹⁶⁾.

Le brouillage offensif n'est pas pour autant une panacée : afin de brouiller la fréquence d'un radar menaçant, il faut émettre sur cette même fréquence et donc « aveugler » tous les récepteurs calibrés dessus, ainsi qu'éventuellement sur des fréquences voisines, gênant potentiellement l'action des forces amies – en cas d'inconnue quant à la fréquence précise que l'on souhaite brouiller, on recourt à la pratique du brouillage en « barrage », en émettant à forte puissance sur une large partie du spectre, ce qui multiplie encore le problème. Ce

(95) « D'une manière générale, l'attaque électronique semble davantage à la portée de la France et probablement plus fiable que la furtivité », entretien avec un expert militaire.

(96) Poduval, *Electronic Warfare*, *op. cit.* p. 30.

problème du brouillage « bavant » tend à être moins vrai avec les systèmes de brouillage offensif numérique, mais était encore gênant au Kosovo⁽⁹⁷⁾.

Une carence capacitaire française. Suite à l'opération *Force alliée* et à la perception d'un vide capacitaire dans ce domaine, plusieurs programmes d'études amont (PEA) consacrés au brouillage offensif avaient ainsi été lancés par la Délégation générale de l'armement. Ils visaient des capacités supérieures à celles des EA-6B *Prowler*, et les systèmes en résultant devaient être intégrés au *Rafale*. Un système connu sous le nom de RaBO (pour *Rafale*-brouilleur offensif) avait été proposé par Dassault et Thales avec des prix autour d'1 milliard d'euros pour une dizaine d'avions⁽⁹⁸⁾. Tandis que l'acquisition d'une quinzaine de nacelles de brouillage offensif était encore prévue dans la LPM 2003-2008, ces projets ont été ajournés par l'état-major des armées en 2008, en raison de difficultés techniques et du coût annoncé des systèmes⁽⁹⁹⁾.

Des savoir-faire industriels à exploiter. En dépit de ces déconvenues, le savoir-faire français en matière de guerre électronique est maintenu sur le plan matériel — démonstrateur de Thales « Carbone »⁽¹⁰⁰⁾ — mais aussi sur le plan logiciel, pérennisé par la poursuite de la recherche et développement dans le domaine du brouillage défensif et de l'autoprotection (SPECTRA). Enfin, il semblerait également que des pistes restent à creuser à partir de matériels déjà existants et récemment entrés en service. La puissance de calcul et d'émission considérable des nouveaux radars AESA aurait en effet potentiellement des capacités d'attaque électronique⁽¹⁰¹⁾. Ces radars devraient équiper la quatrième tranche de *Rafale* sous la forme du nouveau RBE2 AESA, actuellement en test au CEAM de Mont-de-Marsan⁽¹⁰²⁾.

Le défi de l'AESA et le *Next Gen Jammer*. Si la technologie AESA offre certainement des capacités intéressantes dans le domaine de l'attaque électronique, elle lui pose également d'importants défis. Alors que les radars électroniques à antenne active sont destinés à devenir la technologie standard des systèmes sol-air (cf. « Évolution capacitaire de la menace » *supra*), les brouilleurs traditionnels, même modernisés – à l'instar des pods ALQ-99 opérés par les nouveaux EA-18G *Growler* de l'*US Navy* – ne disposent ni de la puissance, ni de l'agilité nécessaire pour faire face à ces systèmes à balayage extrêmement rapide⁽¹⁰³⁾. C'est tout le défi du programme américain *Next Generation Jammer*

(97) Entretien avec des experts militaires.

(98) Entretien avec un expert militaire.

(99) Jean-Claude Viollet, *Projet de loi de finances pour 2010 : Défense – Préparation et emploi des forces – Air*, Assemblée nationale, 14 octobre 2009, accessible à l'adresse : <http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/budget/plf2010/a1972-tVI.pdf>

(100) Philippe Wodka-Gallien, « Retour sur l'AOC Dayton (Ohio) », *La Lettre de Guerrelec*, n° 21, mai 2004.

(101) Olivier Le Bot (commandant), « Le radar AESA. Technologie clé pour la performance et sésame pour la vente des avions de combat au XXI^e siècle », *DSI*, n° 67, février 2011, p. 92.

(102) Guillaume Steuer, « *Rafale* : l'AESA en septembre à Mont-de-Marsan », *Air&Cosmos*, 29 juin 2012.

(103) Barry Manz, « Is EW ready for AESA (and Vice Versa)? », *Journal of Electronic Defense*, septembre 2012, p. 30-43.

(NGJ), dont le développement a été confié à Raytheon par l'*US Navy* et qui est censé équiper les *Growler* de l'*US Navy* à partir du début des années 2020⁽¹⁰⁴⁾. Ce système révolutionnaire devrait bénéficier de la technologie des radars AESA en l'appliquant au brouillage – le NGJ se fonderait ainsi sur de nombreux composants, capables d'émettre de manière intelligente pour saturer le radar adverse. Une telle technologie serait rendue possible par l'utilisation d'une nouvelle forme d'électronique à état solide fondée non plus sur l'arséniure de gallium (GaAs) mais sur le nitrure de gallium (GaN), un nouveau semi-conducteur spintronique possédant une capacité thermique très élevée et donc capable de véhiculer des émissions à très haute fréquence⁽¹⁰⁵⁾.

Même si ces technologies de pointe peuvent sembler inaccessibles, elles sont en réalité loin d'être hors de portée pour l'industrie française, comme en témoigne le PEA *Incas*, notifié à Thalès en 2009 et qui prévoit d'aboutir à l'horizon 2020 à l'intégration d'antennes SPECTRA au GaN « qui permettront entre autres un brouillage plus puissant et sur des bandes plus larges »⁽¹⁰⁶⁾. Compte tenu des investissements et des savoir-faire entretenus dans le domaine de l'autoprotection, la résurrection d'un programme de brouillage offensif en France ne doit donc pas être considérée comme définitivement inabordable. Une telle capacité pourrait être intégrée à brève échéance sur des plateformes existantes, soit sur des avions pour du brouillage puissant, soit sur des drones, éventuellement non récupérables, pour un brouillage de moindre puissance. À moyen-long terme, l'UCAV fait figure de plateforme idéale⁽¹⁰⁷⁾. Dans une même perspective de long terme, il pourrait être intéressant d'étudier le développement de « bombes électromagnétiques » comparables au missile CHAMP, en dépit des problèmes de coût et de taille du missile associés, pour l'heure, à une telle option. À plus court terme, en revanche, et à défaut de plateformes furtives, seul le brouillage offensif – et non défensif – permettrait la pénétration de SDAI avancés.

QUEL APPORT DES ARMES CYBERNÉTIQUES ?

Par-delà les possibilités encore mal connues du NGJ, l'attaque électronique s'est étendue au-delà du spectre électromagnétique traditionnel pour intégrer la dimension logicielle⁽¹⁰⁸⁾. Cette évolution doit être interprétée comme le résultat logique de l'introduction massive des moyens informatiques dans les SDAI de nouvelle génération⁽¹⁰⁹⁾. L'attaque cybernétique contre des radars d'engagement

(104) Gareth Jennings, « Raytheon awarded Next-Gen Jammer contract », *Jane's Navy International (online)*, 9 juillet 2013 ; Mark Ayton, « Next Gen Jammer. What to expect from America's next generation jammer », *Air International*, vol. 84, n° 4, avril 2013, p. 79-83 ; John Haystead, « NGJ. Advanced Tactical Jamming for Next Generation Warfare », *Journal of Electronic Defense*, juin 2012, p. 33-45.

(105) Manz, « Is EW ready for AESA (and Vice Versa)? », *op. cit.*, p. 39.

(106) « Spectra : bouclier et cape d'invisibilité », *Air & Cosmos*, hors-série Spécial *Rafale*, juin 2010, p. 91.

(107) Voir *infra*, la section suivante.

(108) Entretien avec des experts militaires.

(109) Kopp, « Surviving the Modern Integrated Air Defence System », *op. cit.*, p. 6.

et des postes de contrôle de systèmes SAM semble aujourd'hui en passe d'ouvrir des perspectives radicalement nouvelles pour les missions SEAD.

Lors de l'opération *Force Alliée* en 1999, l'injection de codes malveillants – vraisemblablement suite à une infiltration clandestine – dans les systèmes d'information du SDAI serbe aurait permis de manipuler les données reçues par les opérateurs, leur indiquant notamment des fausses cibles⁽¹¹⁰⁾. Plus récemment, des détails révélés sur le raid secret du 6 septembre 2007 effectué par les forces aériennes israéliennes contre un réacteur nucléaire syrien dans la région orientale de Deir ez-Zor (opération *Orchard*) semblent attester d'un nouveau seuil franchi dans le domaine de la cyber-SEAD⁽¹¹¹⁾. Bien que les Israéliens aient opéré ce raid à partir de plateformes non furtives (F-16I et F-15C), les opérateurs du SDAI syrien, pourtant réputé alors pour être performant, n'auraient reçu aucune alerte quant à la pénétration de leur espace aérien. Selon plusieurs sources, cette absence de réaction du réseau radar serait due à une attaque cybernétique d'une ampleur inconnue jusqu'alors.

Connu sous le nom de *Suter*, le ver informatique utilisé dans l'opération *Orchard* aurait été développé dans le cadre d'un programme de l'USAF intitulé *Big Safari* et visant à développer des cyberarmes à usage tactique, et notamment dans le domaine SEAD. Selon le magazine suisse *Armada International*, *Suter* disposerait de trois versions distinctes : *Suter-1* serait un outil essentiellement de renseignement, capable de reproduire et de transmettre en temps réel les images produites sur les moniteurs des postes de contrôle du SDAI ennemi ; *Suter-2* permettrait plus directement de prendre le contrôle des écrans radars adverses ; *Suter-3* étendrait ce contrôle aux systèmes d'armes eux-mêmes⁽¹¹²⁾.

Plusieurs hypothèses existent quant au moyen utilisé par les Israéliens pour introduire un tel virus. L'explication la plus vraisemblable serait l'infiltration manuelle, exploitant une faille humaine ou une méconnaissance des protocoles de sécurité informatique du système sol-air, à la manière dont avait été préparée la cyberattaque durant l'opération *Force Alliée*⁽¹¹³⁾.

Un autre mode de contamination serait la pénétration du réseau de fibre optique syrien raccordé au SDAI. Bien que complexe, et nécessitant des capacités de piratage avancées, un tel raccordement permettrait à l'attaquant d'injecter le code directement dans les réseaux de communication servant à intégrer la défense aérienne⁽¹¹⁴⁾. Une composante aéroportée de cette même tactique semble également possible, par l'infiltration des liaisons de données tactiques entre le radar et l'effecteur qui pourraient constituer un point d'entrée pour

(110) Lambeth, *The Transformation of American Air Power*, op. cit., p. 199-200.

(111) Richard A. Clarke et Robert K. Knake, *Cyber War: The next threat to national security and what to do about it*, New York, Ecco 2010, p. 1-8. Voir également Thomas Rid, « Cyber War Will Not Take Place », op. cit., 2011, p. 17.

(112) Thomas Withington, « Code of Mass Disruption », *Armada International*, octobre 2012, disponible à l'adresse : <http://www.armada.ch/code-of-mass-disruption/>

(113) Entretien avec des experts militaires.

(114) Clarke et Knake, *Cyber War*, op. cit., p. 7.

des armes cybernétiques, *via* les méthodes de *spoofing* déjà évoquées. Une telle méthode suppose naturellement que la défense sol-air soit constituée en SDAI, et dispose en conséquence d'un grand nombre de points d'entrée potentiels⁽¹¹⁵⁾.

Enfin, une dernière hypothèse développée par certains, et de loin la plus complexe à réaliser, est que le ver informatique ait été délivré par l'action d'un drone furtif de guerre électronique ayant émis le virus par ondes électromagnétiques directement dans le radar adverse⁽¹¹⁶⁾. Les progrès de la technologie AESA semblent venir confirmer l'usage potentiel de ces nouveaux radars comme transmetteurs de données – ils peuvent ainsi partager leurs informations *via* la liaison 16 – pouvant donc théoriquement servir de vecteur à la transmission de codes malveillants⁽¹¹⁷⁾.

Dans tous les cas, mener à bien une telle cyberattaque contre un SDAI requiert de connaître extrêmement bien le système adverse. Pour ce faire, le ver envoyé en direction du radar ennemi devrait en théorie pouvoir être lu et interprété par celui-ci pour que la charge du ver fasse effet. Il faut donc probablement avoir été en possession d'une copie du système, afin d'en analyser les CCME et de tester les capacités cyberoffensives⁽¹¹⁸⁾.

En dépit des progrès impressionnants dans le domaine, les cyberarmes ne peuvent être considérées à ce stade de leur développement – ni dans un avenir proche – comme une capacité SEAD suffisante pour garantir la neutralisation effective des défenses aériennes ennemies⁽¹¹⁹⁾. Ainsi le journaliste David E. Sanger affirme-t-il que si l'emploi de telles armes cybernétiques a bien été considéré au cours de l'opération *Odyssey Dawn* pour neutraliser la défense aérienne libyenne, cette méthode n'a finalement pas été retenue car « ni suffisamment efficace ni suffisamment rapide »⁽¹²⁰⁾.

À moyen terme pourtant, le développement de cyberarmes comme capacité clé de la SEAD doit être considéré le plus sérieusement du monde : l'effet de levier potentiel d'un virus performant attaquant d'un coup l'ensemble des radars ou des systèmes d'arme d'un SDAI pourrait bien, à terme, se révéler la clé d'une nouvelle forme de suprématie aérienne. Le développement de tels moyens serait d'autant plus intéressant que les coûts de R&D, s'ils sont assurément considérables, pourraient également être nettement inférieurs à ceux des alternatives (le développement d'une flotte d'avions furtifs par exemple) et devraient concerner principalement les puissances moyennes comme la France – à la condition initiale évidente de libérer la réflexion autour de la lutte informatique offensive (*cf.* « L'avenir du brouillage offensif » *supra*).

(115) Entretien avec des experts militaires.

(116) Clarke et Knake, *Cyber War*, *op. cit.*, p. 6.

(117) « The great radar race : AESA development in High Gear », Aviationintel.com, 27 mai 2011, disponible à l'adresse : <http://aviationintel.com/2011/05/27/the-great-radar-race-aesa-development-in-high-gear/>

(118) Entretien avec des experts militaires.

(119) Entretien avec des experts civils.

(120) David E. Sanger, *Confront and Conceal. Obama's Secret Wars and the Surprising Use of American Power*, New York, Crown Publishers, 2012, p. 160.

LES DRONES, PLATEFORMES D'AVENIR POUR L'ATTAQUE ÉLECTRONIQUE ?

L'utilisation de plateformes non habitées dans des missions d'attaque électronique (qu'elle soit cinétique ou non) est rapidement apparue comme pleine d'intérêt, du fait de la dangerosité inhérente à de telles opérations. Au cours des années 1970, l'USAF conduit déjà une série de tests d'attaque à distance de sites de défense sol-air. Néanmoins, ces projets souffrent des limites de l'époque en termes de puissance de calcul et de liaisons de données tactiques. Après trois décennies de progrès technologiques et d'accroissement considérable de la vitesse des processeurs et des bandes passantes, il semble aujourd'hui réaliste d'envisager un emploi de plus en plus courant des drones dans des missions SEAD⁽¹²¹⁾.

Drones tueurs. L'évolution considérable des moyens de frappe dans la profondeur, notamment des missiles de croisière, a largement porté le développement des drones de combat (et réciproquement). La distinction aujourd'hui entre un « drone suicide » et un missile de dernière génération est assez mince. Développé en coopération par les Américains et les Israéliens et entré en service depuis 1997, le programme *Harpy* atteste de cette proximité : capable d'opérer dans un rayon de 500 km pendant plus de 2 heures, ce système à guidage antiradar suit un schéma relativement proche de l'ALARM britannique, planant au-dessus de sa zone d'action en attendant de trouver sa cible⁽¹²²⁾. À plus longue échéance, et à un niveau technologique et financier bien supérieur, les projets américains d'UCAV furtifs, tels que l'X-47B de Northrop Grumman ou l'X-45A de Boeing, devraient disposer de toutes les qualités nécessaires – si tant est qu'ils voient le jour – pour mener à bien des missions de pénétration et de destruction des défenses aériennes⁽¹²³⁾.

Drones brouilleurs. L'avènement de systèmes de brouillage exigeant de faibles puissances, combiné à la réduction de la taille, du poids et du coût des plateformes non habitées, permet aujourd'hui d'envisager l'emploi de drones dans des missions d'attaque électronique contre des systèmes radar et de communication. De tels systèmes sont déjà opérationnels aujourd'hui à l'instar du *Hunter* produit par Northrop Grumman et capable de mener des missions d'attaque électronique relativement simples. D'autres projets à plus long terme indiquent que ces systèmes sont amenés à se développer à la manière du *Jammer Cube* de l'*US Marine Corps*, censé doter le service d'une capacité de brouillage offensif peu onéreuse mais à très courte portée⁽¹²⁴⁾. Boeing semble également avoir lancé des programmes prévoyant de recourir à des essaims de drones pour

(121) Michael Franklin, « Unmanned Combat Air Vehicles : Opportunities For The Guided Weapons Industry? », Royal United Services Institute for Defence and Security Studies, *Occasional Paper*, septembre 2008, p. 2.

(122) « Israel Aerospace Industries (IAI)/MBDA/Raytheon CUTLASS/Harpy/HAROP/White Hawk », *Jane's Electronic Mission Aircraft (online)*, 9 septembre 2011.

(123) David Axe, « One of these 'Bots Will Be the Navy's Next Killer Drone », blog *Danger Room*, 27 mars 2013, disponible à l'adresse <http://www.wired.com/dangerroom/2013/03/navy-next-killer-drone/>

(124) Franklin, « Unmanned Combat Air Vehicles », *op. cit.*, p. 2.

mener des missions SEAD⁽¹²⁵⁾. Des études récentes sur les stratégies coopératives à des fins d'attaque électronique semblent également démontrer l'intérêt de drones connectés en réseaux et capables de suivre des profils extrêmement précis, optimisés pour tromper et, *in fine*, brouiller les radars adverses⁽¹²⁶⁾.

Des avantages à nuancer. Il semble toutefois important de ne pas se leurrer sur les économies d'échelles dont pourraient bénéficier des plateformes non habitées auxquelles on imposerait des spécifications identiques à celles d'appareils actuels optimisés pour les missions SEAD, comme l'EA-18G ou même le F-22 : rien ne permet de dire qu'un UCAV furtif serait significativement moins cher qu'un chasseur furtif⁽¹²⁷⁾. Les UAS ont des avantages conséquents pour la SEAD mais ne semblent pas pour autant annoncer une manière de conduire une guerre bon marché. Comme il a déjà été mentionné précédemment (*cf.* « Options pour des puissances moyennes » *supra*), l'introduction de capacités manœuvrantes suffisantes pour permettre aux futurs UCAV d'effectuer des missions SEAD (et *a fortiori* air-air) impliquerait notamment un gain significatif en termes d'autonomie. Or, le passage à des plateformes très autonomes pose des problèmes non seulement éthiques, mais encore pratiques : bien qu'une autonomie accrue signifie une capacité à automatiser des choix tactiques, elle ne permet pas de s'affranchir du contact C2. Cette dépendance extrême à l'égard de la bande passante pose en particulier deux problèmes : tout d'abord, le décalage temporel (*time lag*) occasionné par le temps de propagation des ondes est source de vulnérabilité sur le champ de bataille ; en outre, dépendre toujours davantage de la bande passante est d'autant plus risqué que l'environnement électromagnétique est – et va être – de plus en plus contesté par l'adversaire. S'appuyer davantage sur les UAS dans un tel contexte pourrait donc s'avérer extrêmement risqué. Cette automatisation, qui ne s'accomplira qu'à condition d'être efficace et sûre, ne devrait donc pas intervenir avant les années 2030⁽¹²⁸⁾. À défaut, on peut peut-être envisager de développer des drones beaucoup plus simples et donc à bas coût, tels qu'ils se prêtent à un emploi unique (leurre, brouillage ou destruction) et qu'on puisse les combiner en un système et les déployer en formation. Là encore, toutefois, rien n'assure que la quantité ne coûte pas aussi cher que la qualité, autrement dit que les plateformes simples requises n'équivalent pas, de par leur nombre, au coût unitaire d'UCAV sophistiqués et réutilisables.

En conclusion, il apparaît donc que si le principe d'un « modèle français » de SEAD, reposant sur la manœuvre aérienne et la « juste suffisance », est intéressant et gagne à être poursuivi, il ne peut conserver à l'avenir de véritable réalité opérationnelle qu'au prix d'une montée en gamme. Il serait certainement

(125) Entretien avec des experts militaires.

(126) Mark J. Mears, « Cooperative Electronic Attack using Unmanned Air Vehicles », Air Force Research Laboratory, Air Vehicles Directorate, Wright Patterson AFB, 2006.

(127) Entretien avec des experts civils.

(128) Entretien avec des experts militaires.

illusoire, et pour tout dire dangereux, de se fixer sur les standards américains qui sont largement hors de portée financièrement et technologiquement – *a fortiori* en ces temps de contraintes budgétaires. Pour autant, si la France souhaite se maintenir au rang des rares puissances aériennes capables d'effectuer une opération aérienne d'entrée en premier – ici entendue au sens de la pénétration par la force d'un espace aérien non-permissif – il apparaît indispensable qu'un certain nombre de moyens soient mis à jour voire tout simplement réintégré – à l'image notamment des capacités d'attaque électronique. Fruits d'un riche héritage, les ressources technologiques et industrielles existent aujourd'hui en France qui permettent une telle montée en puissance à un coût financier certes important mais sans doute pas inaccessible, pour peu que des arbitrages soient réalisés et une hiérarchisation des priorités établie.

RENFORCER LA PROTECTION DES INFRASTRUCTURES

Face aux menaces de tous niveaux qui pèsent de façon grandissante sur les bases, plusieurs réponses sont théoriquement possibles : défendre davantage les bases et leurs abords par des moyens actifs et passifs, les déplacer par dispersion ou mise à distance de sécurité des adversaires. Largement compatibles entre elles, ces solutions sont une fois encore limitées par les coûts très importants qu'elles entraînent presque toujours. Aussi est-il nécessaire, après avoir passé en revue les pistes envisageables en fonction des types de menaces, de focaliser l'analyse sur la France, en prenant en compte au premier chef les risques qui la concernent et les faibles ressources qui seront probablement disponibles à l'horizon considéré.

DISPERSION ET ÉLOIGNEMENT

La dispersion et le déplacement participent de la même logique, qui consiste à éloigner ses « actifs » de la zone de danger. La dispersion tout d'abord pose à la fois un problème de coût (combien de bases veut-on maintenir en partie ou totalement opérationnelles ?) et un problème diplomatique, quant à la permanence de l'accès offert par des alliés. La rationalisation des infrastructures aériennes opérée dans l'après-guerre froide sur le territoire national s'explique ainsi indéniablement par des raisons budgétaires. Elle s'est traduite par le rassemblement des capacités aériennes françaises sur un faible nombre d'emprises, offrant à un ennemi compétent, capable d'organiser une frappe massive, une espérance de gain élevée – là où à l'inverse la « redondance » de la guerre froide, décriée aujourd'hui comme un gaspillage, avait justement été pensée et voulue à l'origine comme un gage de résilience. On pourrait ainsi assister à un double mouvement contradictoire, avec d'un côté la poursuite de la fermeture de bases nationales à des fins strictement budgétaires (décisions dans le cadre des Livres blancs de 2008 et de 2013 en France, processus BRAC aux États-Unis), de l'autre la multiplication des accords de basage en Asie, au Moyen-Orient et en Afrique. Il s'agit en l'occurrence de disperser et ainsi de protéger les capacités aériennes américaines ou françaises face à des menaces militaires, mais aussi de préserver l'accès stratégique aux grandes régions, en se prémunissant,

à l'avance et par le nombre, de la dégradation toujours possible d'une relation bilatérale – ainsi du développement par les États-Unis de leurs liens avec les petits États du Golfe et la réduction parallèle de leur dépendance à l'égard de l'Arabie saoudite⁽¹²⁹⁾. Sans aller jusqu'à ouvrir de nouvelles bases, il est également concevable de mettre en œuvre des concepts innovants comme le *flexbasing*, le *reachback* ou les opérations distribuées, qui consistent ainsi à s'appuyer sur un réseau d'installations variées et plus légères, avec le maintien à distance des moyens de commandement et de contrôle essentiels⁽¹³⁰⁾. Cependant, cette approche se heurte à plusieurs objections : multiplier les assises revient en effet à multiplier les relations de dépendance politique envers les pays hôtes, peut poser de réels problèmes logistiques, enfin exige des capacités très importantes en matière de satellites et de bande passante.

L'éloignement ou le déplacement à distance de sauvegarde, est également très onéreux, puisqu'il suppose des investissements importants en ravitailleurs en vol et en drones MALE, sans compter l'ouverture éventuelle de nouvelles bases⁽¹³¹⁾. Face à des menaces hautes, technologiquement et militairement sophistiquées, donc capables d'administrer une frappe conventionnelle désarmante ou d'organiser un déni d'accès à grande échelle, le fait de sortir de l'enveloppe des menaces au moins une partie des moyens aériens, et en particulier les *enablers* et les capacités de frappe à longue portée, est toutefois préconisé par nombre d'experts⁽¹³²⁾. De l'avis général, les États-Unis vont ainsi, face à la posture chinoise d'A2/AD, continuer dans les années à venir de rapatrier des moyens à Guam et de développer leurs liens avec l'Australie⁽¹³³⁾. À terme, cette option pourrait n'offrir qu'une solution temporaire, puisque les moyens de frappe à longue portée et d'une extrême précision devraient se généraliser, permettant à des adversaires éventuels de menacer le territoire national. Rien n'interdit toutefois de combiner mise à distance et renforcement des défenses, actives ou passives. En outre, l'utilisation du territoire national peut au final faire sens, mais de façon plus politique que militaire, dans la mesure où celui-ci constitue un sanctuaire dont la violation peut faire réfléchir un adversaire soucieux d'éviter l'escalade face à une puissance nucléaire.

DÉFENSES PASSIVES ET DÉFENSES ACTIVES

Passive ou active, la défense constitue une approche parallèle, à la fois plus risquée et plus sûre que l'évitement, en fonction des menaces. La défense passive repose ainsi sur le durcissement des infrastructures aériennes et en particulier des hangars abritant les avions. Ceci exige des travaux importants et des

(129) Les États-Unis semblent ainsi compter sur la France pour obtenir un accès militaire sécurisé dans les zones d'influence traditionnelles de celle-ci. Entretien avec un expert militaire.

(130) Entretien avec des experts civils et militaires.

(131) Dans le cas de la France, rappelons que seuls deux avions ravitailleurs MRTT doivent être livrés d'ici 2019. Cf. ministère de la Défense, *Projet de loi de Programmation Militaire 2014-2019*, dossier thématique, 1^{er} août 2013, p. 22.

(132) C'est ainsi le cas d'Andy Marshall, voir entretien avec des experts civils et militaires.

(133) Entretiens avec des experts militaires.

coûts qui le sont plus encore, de l'ordre de 4 millions par hangar⁽¹³⁴⁾. De plus, la garantie offerte est loin d'être absolue et peut surtout consister à augmenter le seuil de crédibilité d'une attaque, en l'occurrence de sa puissance et de sa précision. Plusieurs degrés de durcissement sont ainsi envisageables, depuis l'absence complète (appareils rangés sur le tarmac) jusqu'aux bases aériennes suisses ou chinoises creusées dans la montagne, en passant par l'occultation et la protection contre les armes légères et de moyen calibre. Problématique largement abandonnée avec la fin de la guerre froide, le durcissement est en train susciter un regain d'intérêt aux États-Unis, par exemple pour les installations de Guam, au fur et à mesure que la Chine et d'autres « puissances émergentes » développent des capacités de frappes de précision à grande distance⁽¹³⁵⁾.

Aussi convient-il de compléter ou de remplacer des installations durcies par des défenses actives, ce qui implique des mesures à trois niveaux différents : déployer tout d'abord des défenses anti-aériennes et antimissiles face à la menace des missiles balistiques de théâtre (modernisation de l'Aster, par exemple), des missiles de croisière et des drones, installer ensuite sur les bases avancées des dispositifs d'alerte et d'interception face aux G-RAMM, enfin mettre en place les procédures et les capacités requises pour une sécurisation renforcée du périmètre large des bases. Là encore, les coûts impliqués risquent au total d'être très élevés.

Concernant la sécurisation des bases face à des attaques d'infanterie légère et un harcèlement plus ou moins régulier, tout dépend du contexte militaire et de la situation de la base. Face à des menaces ponctuelles, de nature terroriste, un simple renforcement des capacités d'observation, des mesures d'alerte et de protection, enfin des patrouilles extérieures à la base devraient suffire, surtout si tout ceci s'accompagne d'un réel effort en matière de renseignement (recueil et fusion de données en provenance de sources différentes) et, le cas échéant, de coopération avec les autorités locales ou les forces de sécurité intérieure. Face à des menaces d'intrusion et suite aux attaques terroristes des années 1990 (en particulier l'attentat de Khobar Towers en 1996), les États-Unis ont ainsi renforcé progressivement les mesures de sécurité sur les installations de l'USAF, et mis en place en 2005 le programme *Integrated Base Defense* (IBD), fondé sur la participation de tous les personnels en matière de sécurité et de recueil du renseignement⁽¹³⁶⁾. Le rôle du renseignement est encore plus déterminant face à une insurrection organisée, dont les attaques contre les bases tendent à devenir de plus en plus dangereuses avec le temps. Il faut alors obtenir du

(134) Bruno Gruselle, « Missiles de croisière et stratégie d'anti-accès », *Recherches & Documents*, FRS, 2006.

(135) Voir par exemple « Fortifying Guam's Infrastructure », *Air Force Magazine*, 11 avril 2011, disponible à l'adresse : <http://www.airforcemag.com/DRArchive/Pages/2011/April%202011/April%2011%202011/FortifyingGuam'sInfrastructure.aspx>

(136) Jeffery T. Ditlevson, *Air Base Defense : Different Times Call For Different Methods*, Monterey, Naval Postgraduate School, 2006, p. 30. L'auteur souligne que les spécialistes du renseignement présents sur les bases sont focalisés sur l'ennemi et les missions aériennes offensives, pas sur la protection des bases, et qu'il est donc nécessaire de les former sur ce point et de leur apprendre à collaborer en interarmées et en inter-agences (p. 41-42).

renseignement de la population civile, par un mélange d'incitations monétaires, de protection et de dispositifs d'alerte simples à utiliser (hotlines téléphoniques, Internet)⁽¹³⁷⁾. Tout ceci suppose des analystes formés mais aussi une présence active en dehors de la base, avec l'organisation de patrouilles à pied et en véhicule, de jour comme de nuit, l'érection de postes d'observation et même des opérations de fouille dans le cas de zones urbanisées, afin de protéger les abords face à des menaces de courte portée. C'est ainsi que l'USAF a été amenée en Irak à lancer autour de la base de Balad l'opération *Desert Safeside*, sur le modèle de l'opération *Safeside* de la guerre du Vietnam⁽¹³⁸⁾.

Toutefois, avec la diffusion des G-RAMM et l'augmentation régulière de leur portée et de leur précision, il va falloir envisager de sécuriser un périmètre beaucoup plus large, de l'ordre de 15 km, autour des bases. Ceci implique de disposer d'effectifs importants, mais également de systèmes d'observation et de contre-batteries performants, c'est-à-dire réactifs et précis. D'un point de vue défensif et, face à ces menaces sophistiquées, le problème essentiel des solutions existantes est le coût, qu'il s'agisse d'alerte (systèmes TASS et *Pathfinder*) ou d'interception⁽¹³⁹⁾. Chaque batterie du système d'interception *Iron Dome* coûterait ainsi 50 millions de dollars, avec des tirs équivalant eux-mêmes à 70 000 dollars⁽¹⁴⁰⁾. Il importe donc d'étudier des solutions innovantes, en particulier le brouillage défensif et éventuellement même les armes à énergie dirigée (*directed energy weapon* ou DEW), si elles s'avèrent abordables.

Face à des menaces de nature militaire et généralement symétrique, comme les missiles balistiques et les missiles de croisière, les systèmes défensifs, de type SAMP/T et *Patriot* PAC-3, affichent là encore des prix très élevés, de plusieurs centaines de millions d'euros pour l'ensemble d'un de ces programmes, et de 2 à 3 millions par missile. Le même raisonnement vaut, et peut-être davantage encore, pour les porte-avions, qui nécessitent des moyens de défense anti-aérienne (et sous-marine) de plus en plus importants au sein du groupe aéronaval. À un autre niveau, toutefois, il paraît hasardeux de faire complètement l'impasse sur ces systèmes, en particulier pour défendre des cibles à très haute valeur ajoutée comme des bases aériennes ou des groupes aéronavals. Dans le débat entre « éloignement » et « défense », il faut bien voir que la première solution comporte un coût opérationnel important, puisqu'elle augmente mécaniquement le temps de transit des aéronefs et leur dépendance à l'égard du ravitaillement en vol, tout en diminuant leur « persistance » sur le théâtre et la possibilité d'opérer du ciblage dynamique.

(137) Ditlevson, *Air Base Defense*, op. cit., p. 41-53.

(138) *Ibidem*, p. 23, 98.

(139) *Ibidem*, p. 87.

(140) Dan Williams, « Iron Dome shootdowns of Gaza rockets cost \$25 million-\$30 million : Israel », *Reuters*, 22 novembre 2012, disponible à l'adresse : <http://www.reuters.com/article/2012/11/22/us-israel-palestinians-irondome-idUSBRE8AL0BS20121122>; voir également Matthew Fargo, « Iron Dome – A Watershed for Missile Defense? », *Poniblogger's blog*, disponible à l'adresse : <https://csis.org/blog/iron-dome-watershed-missile-defense>. À noter que le système allemand MANTIS semble avoir un coût comparable ou supérieur.

Les États-Unis entendent de toute façon jouer de la combinaison de ces différents moyens pour augmenter la résilience unitaire de leurs bases avancées comme la solidité de l'ensemble de leur dispositif à l'étranger. Ils sont ainsi en train d'investir des ressources très importantes dans une nouvelle posture générale associant défenses actives, dispersion et mise à distance échelonnées, et durcissement sélectif de leurs bases – il n'en reste pas moins quelques menaces mal couvertes, par exemple les mini-drones – tout en projetant de renforcer leurs moyens de frappe à longue portée et de pénétration des espaces contestés.

QUELLES OPTIONS POUR LA FRANCE ?

La France n'est pas les États-Unis. Cette évidence mérite d'être soulignée une nouvelle fois, tant ses implications sont importantes. Or, une large part de la littérature consacrée à ces questions provient d'outre-Atlantique et se focalise donc sur les menaces qui paraissent à la fois les plus probables et plus dimensionnantes dans une perspective américaine, à savoir la Chine, la Russie et l'Iran. Pour la France en revanche, et compte tenu de l'environnement budgétaire actuel et prévisible, le coût des différentes options est appelé à être un critère déterminant ; quelles que soient les solutions envisagées, il importe donc de garder cette considération à l'esprit et de proposer des *solutions différenciées*, en fonction à la fois des zones géographiques, de l'intensité des menaces et des intérêts en jeu.

Face à des menaces de niveau élevé, pour l'essentiel en provenance de Russie, contre les bases aériennes en France et en Europe, il faut définir une combinaison optimale d'options hautes. Il est impératif de commencer par les moyens de détection et de discrimination, qui doivent permettre de voir venir une frappe de missiles de croisière, de missiles balistiques et plus classiquement un raid de la chasse adverse, ce qui implique de poursuivre les investissements en matière de radars, mais aussi d'acquérir à terme un système d'alerte avancée sur les bases du démonstrateur SPIRALE et un maillage de radars à basse altitude contre les drones – tout ceci sans doute dans le cadre de l'OTAN ou de l'Union européenne. Nous pourrions également renforcer le durcissement de deux ou trois bases sur le territoire, afin de protéger les capacités les plus critiques, comme les FAS et les ravitailleurs. Il s'agirait ainsi de contraindre l'adversaire potentiel à franchir un seuil quantitatif et qualitatif (volume et précision de la frappe, voire usage d'armements non conventionnels), susceptible de faire rentrer en jeu la dissuasion nucléaire, et de ce fait bloquant *ab initio* ses velléités d'escalade. L'ennemi s'autodissuaderait en quelque sorte, étant donné la difficulté à être efficace sans procéder à une frappe massive. Déployer des systèmes de DAMB sur ces mêmes bases renforcerait encore cette logique, et donc « l'ombre portée » de la dissuasion. La combinaison du durcissement et d'une défense antibalistique et anti-aérienne sophistiquée entraîne des investissements considérables et ne peut donc se justifier que sur un très petit nombre de bases situées sur le territoire national, et peut-être également sur quelques bases principales à l'étranger, si les intérêts en jeu le justifient et si le pays hôte assume une partie des frais.

En parallèle, il convient de faire le choix de l'éloignement, en assumant les élongations supplémentaires et le fait d'opérer davantage à partir de bases nationales ou de bases alliées sûres mais éloignées du théâtre. Cela suppose tout d'abord de conserver nos implantations existantes et peut-être même de les développer en négociant des droits de basage, en Afrique, au Moyen-Orient et aussi en Europe. Il faut également accroître progressivement nos capacités de ravitaillement en vol et l'endurance de certains appareils, qu'il s'agisse de drones MALE pour la surveillance et peut-être demain pour des missions spécialisées de type SEAD, ou de plateformes d'attaque spécialement endurantes, par exemple des bombardiers plus ou moins sophistiqués (par exemple simples « camions à bombes », pilotés ou non, pour les zones permissives). Compte tenu de leurs coûts financiers et diplomatiques, le recours au durcissement, à la DAMB et à la dispersion des bases ne peut être que limité, tandis que les ravitailleurs en vol, qui sont en outre multi-usages, paraissent constituer le meilleur compromis.

En outre, il est essentiel de ne pas exagérer la probabilité d'occurrence d'une menace de premier ordre contre nos bases, et aussi de ne pas minorer le rôle que peut jouer la dissuasion. Une guerre limitée entre grandes puissances de demain pourrait en effet se dérouler sur le modèle de la guerre de Corée, avec la définition empirique d'un champ d'affrontement qui exclurait *de facto* les territoires nationaux des belligérants et même de certains de leurs alliés (Chine et Japon à l'époque). Dans le cas inverse, la dissuasion rentrerait nécessairement en jeu, et le problème ne serait plus de protéger les bases aériennes (ou navales) et les moyens du CRF à longue portée de l'ennemi, mais d'arriver à faire jouer de manière crédible la dissuasion, et d'organiser une désescalade réussie.

Face à des menaces intermédiaires ou faibles, on peut également imaginer des compromis satisfaisants. Si la France est confrontée à une puissance régionale proche, dotée de quelques capacités de frappe précise à moyenne portée (missiles balistiques ou missiles de croisière), il est, là encore, possible de jouer sur l'élongation grâce à la diversification des bases et au ravitaillement en vol, et incidemment de s'adosser à la dissuasion en acculant l'adversaire au dilemme du territoire national exposé plus haut. En cas d'affrontement, et une fois que les moyens nationaux les plus performants (*Rafale*, *SCALP*) ont « ouvert la porte », c'est-à-dire neutralisé les systèmes à longue portée et le SDAI adverses, il devient possible d'avancer les ravitailleurs, et donc d'utiliser des aéronefs moins performants et des munitions à courte portée. Si les distances sont plus importantes et qu'il est indispensable de s'appuyer sur des bases alliées, il convient d'organiser une défense à deux niveaux, avec d'une part des dispositifs d'alerte et de brouillage GPS (et pourquoi pas des leurres) face à l'éventualité d'attaques ponctuelles par G-RAMM ou à l'arme légère, de l'autre une défense active doublée d'une surveillance active, montée en coopération avec l'armée de terre, et reposant sur des patrouilles et la recherche de renseignement local. Un degré minimal de durcissement est également à prévoir, sachant qu'il n'est pas besoin de défendre tout le périmètre au même niveau face à la possibilité d'infiltrations – ce dernier point vaut également

en cas de menace terroriste avérée sur le territoire national. Enfin, dans le cas particulier d'une insurrection tenace menaçant les bases l'armée de l'air sur le théâtre, la solution la plus simple est sans doute d'en partir et d'opérer à partir de bases un peu plus lointaines. La proximité et le grand nombre d'installations sont moins nécessaires qu'autrefois, dans la mesure où les drones armés permettent la surveillance « persistante » et la frappe ponctuelle antiterroriste. Si nécessaire, on pourrait également envisager à terme de développer un « camion à bombes » à partir d'un A400M modifié, un peu à la manière de l'ATL2 au Mali, mais avec des capacités d'emport largement supérieures et des munitions de précision de grande portée (évolution des AASM, SCALP) pour le soutien de forces terrestres, même dispersées.

RENFORCER LA RÉSILIENCE DES MOYENS C4ISR FACE AUX MENACES AVANCÉES

Le développement de technologies offensives en rupture fait peser une menace nouvelle sur la principale source de l'avantage des puissances occidentales dans le domaine aérien depuis la fin de la guerre froide : la supériorité informationnelle garantie par des moyens C4ISR performants. Renforcer la résilience de ces systèmes est aujourd'hui une nécessité vitale pour garantir le maintien de la suprématie aérienne, voire au regard de la simple sécurité nationale.

GARANTIR LA SÉCURITÉ DES PLATEFORMES ISR AÉROSPATIALES

À l'horizon des années 2025-2030, les moyens s'attaquant à la dépendance occidentale à l'égard du C4ISR ne semblent pas à même de provoquer l'effondrement systémique d'une opération. Ils pourraient néanmoins générer une friction à des niveaux inconnus jusqu'à présent, et empêcher l'Occident de compter sur une couverture ISR aussi efficace qu'au cours des deux dernières décennies. Trois axes apparaissent susceptibles d'augmenter la résilience des dispositifs C4ISR occidentaux : la mise au point de réseaux C4ISR plus redondants, le durcissement et la sécurisation des signaux, et enfin la protection physique des moyens spatiaux et des stations terrestres.

Il existe d'ores et déjà plusieurs « couches » C4ISR opérant simultanément au-dessus de l'espace de bataille, qu'il s'agisse de drones tactiques, MALE ou HALE, d'avions AEW&C ou de satellites. La redondance peut signifier à la fois la superposition de moyens capables de fournir des services de nature similaire et de se soutenir si un des échelons est neutralisé, mais également la diversification des systèmes de transmission, de navigation et de ciblage utilisés par les plateformes – par exemple en réduisant la dépendance à l'égard des signaux GPS par l'ajout de centrales inertielles, ce qui est déjà généralement le cas dans les nouveaux systèmes. Cela peut également impliquer l'entretien de plusieurs structures de commandement capables d'assumer les fonctions de couverture d'un théâtre donné, et la capacité à transférer la gestion d'une opération d'un centre à l'autre en cas de problème majeur (compromission, attaque physique de la base, etc.). Par exemple, les États-Unis seraient *a priori* capables

de transférer en temps de crise le commandement d'une opération aérienne d'un CAOC de théâtre vers un centre d'opérations situé aux États-Unis⁽¹⁴¹⁾.

Le recours à des drones HALE comme second échelon C4ISR supplantant les réseaux satellitaires pourrait être envisageable à des fins de transmission, de géolocalisation, en plus des fonctions ISR déjà assumées par ce type de moyens⁽¹⁴²⁾. Qu'ils appartiennent aux États-Unis ou fassent partie de moyens acquis collectivement par l'OTAN, des drones HALE pourraient être déployés depuis une réserve en soutien d'une opération, après une attaque visant les satellites ou les stations terrestres, ou en parallèle à ces moyens lors d'une opération particulièrement exposée. Leur proximité relative du champ de bataille, en comparaison des satellites, leur conférerait plusieurs avantages comparatifs, tels qu'une meilleure réactivité face aux cibles fugaces, un renseignement plus précis, ou encore en termes de puissance des signaux : selon certains calculs, en comparaison du signal émanant de la constellation GPS, il faudrait 10 000 fois plus d'énergie pour brouiller une même zone si le signal GPS est émis par un drone HALE volant à 20 km d'altitude⁽¹⁴³⁾. Le recours à des répartiteurs fixes, bien positionnés au sol, pourrait également augmenter le signal GPS sur la zone couverte.

Par bien des aspects, les signaux de transmission constituent le segment le plus vulnérable de l'architecture C4ISR occidentale, qu'il s'agisse des liaisons avec les plateformes pilotées à distance ou de l'exploitation des moyens spatiaux. Durcir et sécuriser les transmissions revient à accroître la résistance des circuits aux différentes radiations électromagnétiques, mais suppose également de crypter systématiquement les transmissions ou d'utiliser des signaux plus complexes, par exemple en les émettant sur des fréquences variables.

Certains problèmes de perturbation des signaux semblent *a priori* maîtrisés à l'horizon considéré : il en va ainsi du brouillage GPS⁽¹⁴⁴⁾. Le fait qu'il s'agisse d'un système de conception américaine comme l'avance des États-Unis dans ce domaine leur permettent de rester confiants quant à la compréhension du brouillage GPS et des moyens de s'en protéger. Un brouilleur devant couvrir une large zone doit émettre des signaux beaucoup plus puissants, qui sont donc plus aisément détectables et localisables par les moyens de ROEM. Ces technologies de brouillage font naturellement l'objet d'une surveillance étroite par les différents moyens de renseignement américains – qu'ils soient d'origine électromagnétique ou humaine – et figurent parmi les cibles prioritaires de toute opération⁽¹⁴⁵⁾. Ainsi, lors d'*Iraqi Freedom*, les six brouilleurs achetés par l'Irak à la Russie ont été localisés et détruits dans les cinq pre-

(141) Entretien avec des experts militaires.

(142) Mike Manor et Kurt Neuman, « Space Assurance », in Scott Jasper (dir.), *Securing Freedom in the Global Commons*, Stanford University Press, 2010, p. 113.

(143) Bruce M. DeBlois, Richard L. Garwin, R. Scott Kemp et Jeremy C. Marwell, « Space Weapons. Crossing the US Rubicon », *International Security*, vol. 29, n° 2, automne 2004, p. 57.

(144) Jean-Jacques Mercier, « Au coeur de la spatiodépendance. La navigation par satellite », *Défense et sécurité internationale*, hors-série n° 28, février-mars 2013, p. 31.

(145) Entretien avec des experts militaires.

miers jours de guerre – ironie du sort, l’un d’entre eux aurait même apparemment été détruit par une arme à guidage GPS⁽¹⁴⁶⁾. Anticipant une dépendance continue à l’égard du GPS, les États-Unis investissent afin de conserver une avance dans ce secteur, en déployant des satellites GPS de deuxième et troisième génération (le premier satellite GPS de troisième génération devrait être mis en orbite en 2015), qui offrent un durcissement du signal militaire (signal plus fort, meilleur cryptage, etc.)⁽¹⁴⁷⁾.

Il n’apparaît pas réaliste d’espérer répondre au problème posé par le brouillage des transmissions d’intérêt militaire effectuées à partir de satellites commerciaux par la seule utilisation de satellites militaires. La croissance des besoins informationnels des forces armées devrait continuer et imposer de fait la poursuite de l’exploitation de moyens commerciaux. Il pourrait néanmoins être envisageable de définir différents niveaux de standards de protection des satellites (durcissement, cryptage...) ⁽¹⁴⁸⁾, dont certains pourraient être imposés aux opérateurs privés comme condition *sine qua non* de la fourniture de services aux forces armées.

Enfin, il ne semble exister aucune parade simple face à la vulnérabilité des liaisons tactiques entre les stations terrestres et les avions pilotés à distance⁽¹⁴⁹⁾. L’autonomisation des appareils pourrait en théorie réduire certains risques, mais poserait de nouveaux problèmes d’ordres éthique et légal. Surtout, et de manière plus concrète, la seule protection parfaitement fiable face au risque de brouillage ou de manipulation des signaux consisterait à autonomiser la plateforme et à l’isoler totalement vis-à-vis de l’architecture C4ISR. Ce qui est, en théorie, envisageable pour des plateformes de frappe – ou servant à conduire une attaque suicide – n’aurait en revanche aucun sens pour toutes les autres plateformes, qui alimentent le réseau C4ISR en même temps qu’elles en utilisent les données, ce qui constitue le principe même des opérations de guerre « réticulées » (*network-centric warfare*).

Si la conduite d’attaques ASAT cinétiques requiert des capacités spatiales développées, la protection physique des satellites exigerait des moyens extrêmement avancés. La défense face à des moyens ASAT cinétiques peut théoriquement être renforcée à plusieurs niveaux. Le premier niveau implique de consolider les capacités de suivi des objets spatiaux et de les moderniser à mesure que les microsatsellites et autres nano-satellites se banalisent. Un deuxième volet pourrait porter sur l’amélioration de la connaissance situationnelle de l’environnement tactique des satellites, étape supplémentaire vers des capacités d’identification de l’assaillant potentiel voire, à un horizon plus lointain, d’autoprotection des satellites. Ces deux premiers niveaux de parade face

(146) Jeffrey Lewis, « Iraq and GPS Jamming », *Armscontrolwonk*, 15 septembre 2004, <http://lewis.armscontrolwonk.com/archive/39/iraq-and-gps-jamming> ; Jim Garamone, « CENTCOM Charts Operation Iraqi Freedom Progress », *Defense.gov*, 25 mars 2003, <http://www.defense.gov/news/newsarticle.aspx?id=29230>

(147) Frank Oliveri, « The Pentagon’s GPS Problem », *CQ Weekly*, 9 février 2013.

(148) Manor et Neuman, « Space Assurance », *op. cit.*, p. 112.

(149) Entretien avec des experts civils.

au développement d'ASAT cinétiques constitueraient une première capacité d'attribution de l'origine de l'attaque, formant la base d'une potentielle posture de dissuasion spatiale.

Très en amont, les capacités défensives pourraient en théorie intervenir dans les minutes suivant le tir de la fusée propulsant la charge ASAT, tandis qu'elle est encore en phase ascendante. Une telle option renvoie aux capacités d'interception de missiles balistiques en phase ascendante (*boost-phase*), mode d'interception qui ne figure plus, pour l'heure, parmi les projets américains de développement de la défense antimissile balistique. Les projets antérieurs, ayant atteint ou non le stade de la R&D, envisageaient notamment des interceptions à l'aide d'armes à énergie dirigée montées sur un Boeing 747 (*Airborne Laser*, ABL), de satellites, de drones⁽¹⁵⁰⁾ ou de missiles SM-3 block IIB (variante abandonnée par le Pentagone au printemps 2013)⁽¹⁵¹⁾. Bien que présentant sur le papier des avantages conséquents, une interception en phase ascendante pose nombre de problèmes : les délais de réaction sont très courts (10 à 15 minutes en tout, moins de 4 pour la seule phase propulsée), les intercepteurs cinétiques sont nécessairement très véloces et les moyens d'interception doivent être en position à proximité du site de lancement. Par ailleurs, une telle interception est inenvisageable en dehors du cadre d'une guerre ouverte avec le pays effectuant le lancement balistique, puisqu'il n'est pas possible de déterminer la nature de la charge (véhicule tueur, satellite tueur, satellite à vocation civile, tête nucléaire, etc.) au cours de la phase ascendante, et que prendre l'initiative de détruire le moyen d'empont serait assimilable à une agression caractérisée.

Un dernier rempart face aux conséquences d'une neutralisation particulièrement efficace du réseau C4ISR occidental pourrait dans un premier temps prendre la forme de capacités à opérer dans un environnement plus rustique et, dans un second temps, à reconstituer ce réseau dans l'urgence⁽¹⁵²⁾. À mesure qu'émergent les menaces visant la supériorité occidentale en termes de C4ISR, il semble judicieux de se livrer à une évaluation de la faisabilité et de la pertinence des concepts opérationnels contemporains dans un environnement électromagnétique non permissif ou dégradé, caractérisé par une couverture lacunaire ou intermittente, préoccupation que l'on retrouve dans le concept américain d'*Air-Sea Battle*.

RELEVER LE DÉFI CYBERNÉTIQUE

La plupart des experts reconnaissent la nécessité impérieuse pour les armées, et notamment les forces aériennes, de se doter de structures et de moyens suffisants pour faire face dans un avenir proche à des menaces cybernétiques ciblées et potentiellement militarisées. Il apparaît aujourd'hui assez

(150) George N. Lewis, Theodore A. Postol, « How US strategic antimissile defense could be made to work », *The Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 66, n° 6, novembre-décembre 2010, p. 8-24.

(151) *Defense Budget Priorities and Choices. Fiscal Year 2014*, Washington, Department of Defense, avril 2013, p. 4, 27.

(152) Entretien avec des experts civils et militaires.

clairement que la France accuse un retard important en la matière par rapport à des puissances occidentales telles que les États-Unis, Israël ou même l'Allemagne et le Royaume-Uni. Bien qu'une approche purement aérienne de la réponse à apporter au défi cybernétique ne fasse pas grand sens, il convient néanmoins de s'interroger brièvement sur les principaux dispositifs susceptibles d'être mis en place à l'échelle nationale et interarmées et ayant des implications sur les forces aériennes.

ÉTAT DES LIEUX DE LA LUTTE INFORMATIQUE DÉFENSIVE (LID) EN FRANCE

La LID repose sur deux volets indissociables à cause de la « porosité » du cyberspace qui réclame une approche globale – à la fois civile et militaire. Dans le domaine militaire, il convient de distinguer plusieurs niveaux d'action :

- **La chaîne de sécurité des systèmes d'information (SSI) :** le haut fonctionnaire correspondant de défense et de sécurité du ministère. Il commande la chaîne fonctionnelle SSI qui agit au travers de cinq autorités qualifiées : CEMA, DGA, SGA, DGSE et DPSD.

- **La chaîne opérationnelle :** cette chaîne est commandée par un officier général en charge de la cyberdéfense (OG CYBER). Il est rattaché au sous-chef opérations avec un mandat transverse de l'EMA sur l'ensemble des armées pour la partie transformation et développement des capacités. Concernant la partie planification et conduite des opérations, il est intégré au CPCO et a autorité sur différentes cellules, dont celle des systèmes d'information et de communication⁽¹⁵³⁾. Ce positionnement permet une analyse globale des menaces et donne des possibilités d'action concrètes pour la protection des forces face aux menaces cyber. L'officier général en charge de la cyberdéfense est secondé par un officier en lutte informatique défensive central (OLID) qui pilote la montée en puissance du domaine cyber dans les armées et l'action des entités cyber interarmées (CALID⁽¹⁵⁴⁾) et propres aux armées. Une équipe de direction de cyberdéfense (CYBERDIR) met en œuvre les décisions prises par l'OG CYBER. Pour relayer les directives de la chaîne cyber, on retrouve au sein des états-majors des officiers LID puis des ALID (adjoints LID) dans les unités. L'armée de l'air possède au niveau de l'EMAA un OLID Air au CDAOA appuyé par le Centre technique LID Air⁽¹⁵⁵⁾.

- **Le CALID** est le centre d'expertise du ministère de la Défense. C'est le CERT⁽¹⁵⁶⁾ des armées : il accomplit un travail de veille et d'alerte sur les réseaux militaires déployés sur le territoire français et en opération, analyse les vulnérabilités et propose des solutions techniques pour renforcer la protection des réseaux. D'un effectif de trente spécialistes, celui-ci devrait être porté à court terme à quatre-vingt.

(153) Contre-Amiral Arnaud Coustillière, « Ministère de la défense : Opérer en sécurité dans le cyberspace », Cybercerclé défense & stratégie du mercredi 24 octobre 2012.

(154) Centre d'analyse en lutte informatique défensive.

(155) Entretien avec un expert militaire.

(156) *Computer Emergency Response Team* : centre d'alerte et de réaction aux attaques informatiques.

• **Au niveau tactique**, la conduite des opérations de cyberdéfense relève du Commandant des systèmes d'information et de communication (COMSIC), qui conseille le commandant de la force terrestre ou aérienne. Il dispose d'équipes de techniciens spécialisés en SSI aux ordres d'un officier (l'OSSI). En ce qui concerne l'armée de l'air, à l'échelon intermédiaire (services, systèmes d'armes, SCADA), on compte à l'heure actuelle un officier LID pour chacun des grands commandements/services, soit en tout une dizaine d'officiers au niveau central. Il faut ensuite ajouter quarante-cinq officiers de haut niveau spécialisés en SSI, environ deux cents sous-officiers SSI et une centaine d'IUF (ingénieurs)⁽¹⁵⁷⁾.

Du fait du caractère extrêmement fluide et non borné de la menace, la résilience cybernétique en matière de sécurité nationale est également assurée par le secteur civil. L'Agence nationale de sécurité des systèmes d'information (ANSSI), créée en 2009 suite à la publication du *Livre blanc sur la sécurité et la défense nationale*, dispose d'effectifs en forte croissance (250 personnels en 2012, 500 prévus en 2015) et d'un budget de 75 millions d'euros en 2012 (cible à 90 millions d'euros)⁽¹⁵⁸⁾.

L'ANSSI est une agence interministérielle qui dépend du Premier ministre et a autorité en matière de SSI en France. C'est l'interlocuteur civil unique vis-à-vis de la communauté internationale. Elle est chargée de proposer les règles à appliquer pour la protection des systèmes d'information de l'État et de vérifier l'application des mesures adoptées. Dans le domaine de la défense des systèmes d'information, elle assure un service de veille, de détection, d'alerte et de réaction aux attaques informatiques.

L'ANSSI dispose d'un « bras armé » : le Centre opérationnel de la sécurité des systèmes d'information (COSSI) qui est une cellule de veille activée 24h/24 qui assure un travail de veille, d'analyse de la menace et de recherche de solutions appropriées pour répondre à une attaque.

ÉTABLIR UNE CULTURE DE SÉCURITÉ DES SYSTÈMES D'INFORMATION

La préoccupation « cyber » n'est pas une nouveauté dans les armées, mais n'a que récemment pris le pas sur la SSI. Dans la protection des informations, la France a historiquement fait figure de référence, notamment en raison de savoir-faire particuliers dans le domaine technique de la cryptologie. La banalisation de l'informatique dans la vie privée a néanmoins pu avoir un effet négatif sur les comportements en termes de SSI. Visible de par le nombre d'incidents informatiques résultant d'une « mauvaise hygiène » en termes de sécurité informatique, cette tendance impose d'accélérer l'établissement d'une culture SSI au sein des armées, en passant en particulier par les établissements d'enseignement. Sur ce plan de la formation – axe d'investissement par définition

(157) Entretien avec un expert militaire.

(158) Jean-Marie Bockel, *La cyberdéfense : un enjeu mondial, une priorité nationale*, rapport d'information n° 681 (2011-2012) fait au nom de la Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées, juillet 2012, <http://www.senat.fr/rap/r11-681/r11-68123.html>

primordial pour renforcer durablement un domaine – la situation des armées est encore globalement insatisfaisante.

Une culture SSI s'inculque au cours de la formation initiale et de perfectionnement, dans les trois armées. La formation SSI semble rester plus poussée pour le personnel de la spécialité des transmissions. Pour l'armée de l'air, le renforcement de la culture SSI passe également par une formation de base à la SSI à l'École de l'air de Salon-de-Provence⁽¹⁵⁹⁾. Une minorité d'officiers accédant à l'Enseignement militaire scientifique et technique bénéficie d'une formation d'un an dispensée par le Centre de formation à la sécurité des systèmes d'informations (CFSSI) dépendant de l'ANSSI.

À l'École de guerre sont dispensées une ou deux conférences de sensibilisation à la LID, mais la sensibilité du sujet et le caractère « multinational » de l'École de guerre (chaque promotion compte un tiers d'étrangers) contribuent à donner à ces présentations un caractère général, assez dogmatique et naturellement exclusivement concentré sur les aspects défensifs. Pour contribuer à faire de la culture SSI et de la LID un axe d'avenir des forces armées et y sensibiliser davantage la hiérarchie des armées, il serait judicieux de développer les conférences de l'École de guerre sur ces points au cours du dernier mois d'enseignement – auquel seuls assistent les stagiaires français. Plus largement, cette sensibilisation devrait faire l'objet d'un effort soutenu à chaque étape de la formation des hiérarchies militaires.

CONSTRUIRE UNE SPÉCIALITÉ CYBERDURABLE

On constate aujourd'hui un manque d'experts LID et SSI, attestant d'une prise en compte des difficultés et besoins en effectifs qui reste insuffisante et témoigne d'une adaptation trop lente des structures et de la hiérarchie⁽¹⁶⁰⁾. Il n'existe pas actuellement de filière à proprement parler « cyber » dans les armées. Il s'agit plus de personnel dont la spécialité est la SSI. On peut largement envisager de développer une filière cyber interarmées, les problèmes de sécurité informatique n'étant, sur un plan technique, pas fondamentalement différents entre l'armée de l'air, l'armée de terre et la marine. Pour ce faire, il faudrait ainsi suivre l'exemple des transmissions dont l'interarmement est en cours (structure de commandement, école de formation).

La France n'est néanmoins pas seule dans ce cas : toutes les forces armées doivent relever un défi considérable pour recruter, former et conserver dans leurs rangs des spécialistes courtisés par le secteur privé. L'Agence européenne *European Network and Information Security Agency* (ENISA) a par ailleurs fait part des difficultés comparables auxquelles sont confrontés les CERT européens pour le recrutement de spécialistes cyber⁽¹⁶¹⁾. Au-delà du recrutement, la fidélisation de la ressource pose également problème. Le système d'une prime spé-

(159) Entretien avec un expert militaire.

(160) Entretien avec un expert militaire.

(161) *Deployment of baseline capabilities of national / governmental CERTs. Status Report 2012*, European Network and Information Security Agency, 2012, p. 59.

cifique de qualification qui avait été mis en place pour éviter l'hémorragie de techniciens informatiques dans les forces, il y a plusieurs années, a été étendu aux spécialistes du domaine cyber, mais le niveau de rémunération reste insuffisant pour rivaliser avec ce même secteur d'activité, dans le civil. Ce profil y est particulièrement recherché, et le dynamisme propre au secteur informatique (38 000 postes à pourvoir en France en 2013⁽¹⁶²⁾) n'est pas à l'avantage des forces armées.

RENFORCER LES PARTENARIATS ENTRE ACTEURS PUBLICS ET PRIVÉS

Ces efforts pourraient être accomplis en suivant au moins deux axes se renforçant mutuellement : une sensibilisation accrue du secteur privé et une coopération approfondie avec le secteur public, tout d'abord ; le développement d'un « esprit de cyberdéfense », ensuite.

En France, l'ANSSI est pour le moment centrée dans ses missions sur l'administration française et les opérateurs d'importance vitale (OIV), donc les grandes entreprises. Un renforcement du partenariat entre l'ANSSI et les TPE/PME, afin de développer et structurer « l'écosystème industriel de la cybersécurité », apparaît nécessaire⁽¹⁶³⁾. L'ANSSI serait ainsi chargée de « participer à la construction d'indicateurs statistiques fiables et reconnus pour évaluer le niveau de la menace », et favoriser le développement des solutions de sécurité nationales⁽¹⁶⁴⁾. Plus largement, il convient de parvenir à imposer aux acteurs privés « critiques » de faire preuve d'une plus grande transparence concernant l'efficacité de leur protection, l'impact des incidents survenus, voire d'imposer à ces acteurs des normes extrêmement exigeantes afin de pouvoir être autorisées à coopérer avec l'État. L'une des possibilités à explorer consisterait à faire établir par l'ANSSI une liste de fournisseurs de services en SSI triés par degré d'exigence et de confiance. Chaque entreprise travaillant avec la Défense devrait alors se tourner vers un groupe de fournisseurs SSI plus ou moins restreint, selon le caractère plus ou moins critique de ses activités⁽¹⁶⁵⁾.

Enfin, une initiative dans le domaine militaire pourrait accroître le lien entre pouvoir public et société civile sur les questions cyber : la réserve citoyenne de cyberdéfense. Son objectif est de « sensibiliser, éduquer, débattre, proposer, organiser et susciter des événements contribuant à faire de la cyberdéfense une priorité nationale »⁽¹⁶⁶⁾. Ses premières missions seront de faire la promotion

(162) Ingrid Lemelle, « Un recrutement sur quatre dans l'informatique », *La Dépêche*, 18 mars 2013, disponible à l'adresse : <http://www.ladepeche-emploi.fr/edito/actualite-ladepeche/article/un-recrutement-sur-quatre-dans-linformatique.html>

(163) Anton Achiary, Joël Hamelin et Dominique Auverlot, *Cybersécurité, l'urgence d'agir*, Centre d'analyse stratégique, note d'analyse n° 324, mars 2013, <http://www.strategie.gouv.fr/content/cybersecurite-urgence-na324>

(164) Antoine Duvauchole, « Cybersécurité : le gouvernement pourrait renforcer le rôle de l'ANSSI », *ZDNet.fr*, 20 mars 2013, <http://www.zdnet.fr/actualites/cybersecurite-le-gouvernement-pourrait-renforcer-le-role-de-l-anssi-39788416.htm>

(165) Entretien avec des experts militaires.

(166) Jérôme Saiz, « La France présente sa Réserve citoyenne cyberdéfense », *Qualys.fr*, 2 avril 2013, <http://magazine.qualys.fr/cyber-pouvoirs/reserve-citoyenne-cyberdefense/>

d'un esprit de cyberdéfense et de contribuer à la réflexion nationale⁽¹⁶⁷⁾ au travers de groupes de réflexion sur le cyber (élus et journalistes, jeunes et formation, *think-tanks*, PME/PMI grandes entreprises, réseau de Réserve citoyenne de cyberdéfense).

RENFORCER LE LIEN ENTRE COMMUNICATION STRATÉGIQUE ET LID

Il n'existe pas en France de communauté cyber, pas de patriotisme cyber fondé sur un libre-échange d'informations. L'idée pourrait être de créer une « libre communauté cyber » en suivant l'exemple de certains pays étrangers. En Allemagne existe une communauté reconnue d'experts informatiques non conventionnels, représentée par une institution comme le *Chaos Computer Club*. La France pourrait faire un choix similaire consistant à développer des liens plus étroits entre les spécialistes chargés de la cyberdéfense et les *hackers*.

La compétence technique de ceux-ci pourrait être habilement mise au profit de la défense des intérêts cyber de la Nation comme le rappelle Éric Filiol : « Nous souffrons d'un manque de recherches ouvertes, alors qu'il y a un excellent potentiel en France. Il faut laisser ce potentiel s'exprimer. L'État ne peut plus payer de recherches parce que les budgets sont restreints. Il doit donc s'appuyer sur une communauté de *hackers* vivante et qui assez souvent est là pour aider. L'État doit comprendre que cette ressource existe et l'utiliser »⁽¹⁶⁸⁾. Le renforcement des liens entre instances étatiques et d'éventuels « corsaires 2.0 » permettrait de renforcer la LID par une meilleure coopération à l'échelon national. En Chine, on observe une synergie entre milieux militaires, services de renseignement, centres de recherche civils et militaires, université, aboutissant au total à une nébuleuse de quelque 20 000 « *hackers* patriotiques » chinois⁽¹⁶⁹⁾. À défaut de pouvoir être reproduit à l'identique, cet exemple chinois mérite au moins d'être étudié de manière plus approfondie.

OUVRIR LE DÉBAT SUR LA LUTTE INFORMATIQUE OFFENSIVE (LIO)

Le discours officiel français est longtemps resté entièrement construit sur le volet défensif du cyber. Le Livre blanc de 2008 annonce déjà clairement que « la France devra développer une capacité de lutte dans cet espace. Des règles d'engagement appropriées, tenant compte des considérations juridiques liées à ce nouveau milieu, devront être élaborées »⁽¹⁷⁰⁾. Dans les armées, pourtant, le débat reste figé sur la LID, et les documents produits se concentrent

(167) Nelly Moussu, « Des réservistes spécialisés en cyberdéfense », [defense.gouv.fr](http://www.defense.gouv.fr), 13 septembre 2012, <http://www.defense.gouv.fr/actualites/articles/des-reservistes-specialises-en-cyberdefense>

(168) Jean-Marc Manach, « Éric Filiol : « L'État doit s'appuyer sur les *hackers* » », *Le Monde Blog*, le 24 mai 2010, consulté le 7 mars 2013 à l'adresse : <http://bugbrother.blog.lemonde.fr/2010/05/24/eric-filliol-letat-doit-sappuyer-sur-les-hackers/>

(169) Michel Baud, « La cyberguerre n'aura pas lieu mais il faut s'y préparer », *Politique étrangère*, vol. 67, n° 2, été 2012, p. 315.

(170) *Défense et sécurité nationale : Le Livre blanc*, Paris, Odile Jacob, 2008, p. 53.

exclusivement sur cet aspect⁽¹⁷¹⁾. Jusqu'au *Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale* de 2013, les capacités de lutte offensive sont restées l'apanage des seuls services spéciaux. La nouvelle doctrine nationale établit désormais que « la capacité informatique offensive, associée à une capacité de renseignement, concourt de façon significative à la posture de cybersécurité. [...] Elle comporte différents stades, plus ou moins réversibles et plus ou moins discrets, proportionnés à l'ampleur et à la gravité des attaques »⁽¹⁷²⁾.

Le vocabulaire employé ici à l'égard de la LIO n'est pas sans rappeler les termes associés à la posture de dissuasion nucléaire. Depuis quelques temps, certains experts et organismes tels que le *Defense Science Board* américain ont recommandé la création d'une force stratégique capable d'incarner dans le cyberspace une logique de dissuasion comparable à celle de la force de frappe nucléaire dans le domaine physique⁽¹⁷³⁾. De nombreuses voix s'élèvent cependant contre de telles analogies. En effet, la cyberdissuasion n'a pas grand-chose à voir avec la dissuasion nucléaire, puisque « les ambiguïtés de la cyberdissuasion contrastent nettement avec la clarté de la dissuasion nucléaire »⁽¹⁷⁴⁾.

Une cyberdissuasion éventuelle pose de nombreux problèmes qui paraissent, pour l'heure, insurmontables, tels que les difficultés d'attribution de la cyberattaque, qui empêchent une riposte immédiate, ou les difficultés pour cerner l'ampleur exacte des conséquences d'une cyberattaque, vu le risque de dommages collatéraux et l'incertitude quant à la résilience de la cible. Enfin, la fréquence des attaques cybernétiques – y compris d'origine étatique – contraste fondamentalement avec le cas de l'arme nucléaire : la banalisation du moyen d'action accroît les risques d'escalade spontanée tout en érodant le caractère dissuasif que pourrait avoir la menace de représailles cybernétiques massives⁽¹⁷⁵⁾.

Aux États-Unis, l'élargissement des missions du *Cyber Command* fournit un point de référence utile en vue du développement du cyber dans les armées françaises – étant entendu que ces dernières n'ont pas forcément vocation à reproduire toutes ces évolutions à l'identique. En 2010 est créé le *Cyber Command* qui entérine la capacité des militaires américains à mener des actions défensives ou à bloquer des attaques frappant uniquement sur leurs propres réseaux⁽¹⁷⁶⁾. En 2012, le Pentagone propose que les cyberspécialistes militaires puissent agir

(171) Parmi le corpus doctrinal interarmées, on se reportera aux DIA (doctrine interarmées) 6.3 et CIA (concept interarmées) 6.3, tous deux intitulés « Cyberdéfense » et datant respectivement de janvier 2012 et juillet 2011.

(172) *Défense et sécurité nationale : le Livre Blanc*, op. cit., p. 107.

(173) Yousaf Butt, « Rabid Response », *Foreign Policy*, 22 mars 2013 : http://www.foreignpolicy.com/articles/2013/03/22/rabid_response?wp_login_redirect=0

(174) Martin C. Libicki, *Cyberdeterrence and Cyberwar*, Santa Monica, RAND Corporation, 2009, p. XVI.

(175) Bruno Gruselle, Bruno Tertrais, Alain Esterele, *Cyber Dissuasion*, Fondation pour la Recherche stratégique, mars 2012, p. 44 et suiv.

(176) Ellen Nakashima, « Pentagon proposes more robust role for its cyber-specialists », *The Washington Post*, 10 août 2012, disponible à l'adresse : http://www.washingtonpost.com/world/national-security/pentagon-proposes-more-robust-role-for-its-cyber-specialists/2012/08/09/1e3478ca-db15-11e1-9745-d9ae6098d493_story.html

hors de leurs réseaux dédiés pour pouvoir défendre les réseaux informatiques critiques américains. Les critères définissant les circonstances dans lesquelles de telles opérations pourraient être conduites sont néanmoins dénoncés par certains analystes comme étant si restrictifs qu'ils paralyseraient toute capacité d'action⁽¹⁷⁷⁾. Enfin, en 2013, on constate l'intégration très claire d'une vocation offensive dans les attributions des forces armées américaines, non seulement sur le territoire américain mais aussi sur le reste du globe. Auditionné par le Sénat américain, le commandant du Cyber Command a récemment décrit la mission de treize « unités offensives que le Département de la défense peut utiliser pour défendre le pays en cas d'attaque par le cyberspace »⁽¹⁷⁸⁾. En complément de cette première force, le Cyber Command met sur pied vingt-sept unités qui vont fournir une assistance pour la planification de cyberopérations au profit des états-majors opérationnels déployés sur l'ensemble du globe.

PRÉPARER LES FORCES AÉRIENNES AUX CONFLITS ASYMÉTRIQUES

Une décennie de guerres irrégulières, de l'Afghanistan en 2001 au Mali en 2013, a amplement démontré que la contestation de la puissance aérienne n'était pas nécessairement l'apanage des puissances militaires de premier rang, disposant de moyens technologiques avancés. Face à la prolifération des systèmes SATCP modernes et à l'adoption de tactiques et de stratégies de lutte asymétrique, les forces aériennes occidentales se doivent de répondre par l'innovation, non seulement technologique, mais également tactico-opérative voire politico-stratégique. Bien que l'arme aérienne ne soit pas dans son ensemble la plus concernée par le défi de l'irrégularisation croissante des conflits, celle-ci doit pourtant la prendre en compte et s'y adapter, sous peine d'apparaître comme l'instrument exclusif de la « grande guerre », et de voir alors sa pertinence expéditionnaire être mise en cause⁽¹⁷⁹⁾.

CONTRÔLER LA MENACE SATCP

Les systèmes sol-air courte portée (SATCP) constituent aujourd'hui la principale menace directe que des acteurs irréguliers sont susceptibles de faire peser sur les plateformes volantes. Si la grande quantité de contre-mesures intégrées dans les systèmes d'autoprotection des plateformes de quatrième et cinquième générations les mettent à l'abri des moyens SATCP les plus anciens (SA-7 et SA-14), la présence de guidage multispectral sur les nouveaux systèmes et leur vitesse les rend particulièrement difficiles à éviter, dès lors qu'ils sont tirés à courte distance et ne laissent que peu de temps au pilote

(177) *Ibidem*.

(178) John Reed, « Cyber Command fielding 13 "offensive" cyber deterrence units », *Foreign Policy*, 12 mars 2013, dispo à l'adresse : http://killerapps.foreignpolicy.com/posts/2013/03/12/us_cyber_command_developing_13_offensive_cyber_deterrence_units

(179) Étienne de Durand, « Le renouveau de la puissance aérienne », *Hérodote*, n° 114, 3^e trimestre 2004, p. 31.

pour réaliser des manœuvres évasives⁽¹⁸⁰⁾. Aux abords des bases, la principale réponse doit donc logiquement reposer sur la sécurisation de périmètres étendus (cf. « Renforcer la protection des infrastructures » *supra*). En l'air, réduire le risque impliquera de continuer à adopter des altitudes de vol plus élevées, le plafond des 20 000 pieds représentant une gêne davantage qu'une cause de suspension des opérations⁽¹⁸¹⁾.

Faute d'investissement dans des contre-mesures techniques et tactiques capables d'apporter une réponse plus ou moins définitive, c'est dans le contrôle des armements et les procédures internationales que se situent peut-être les meilleurs espoirs d'endiguer, à défaut d'éradiquer, la menace associée à l'emploi des SATCP par des adversaires non étatiques. Depuis 2002 et les attentats de Mombassa — qui ont, de ce point de vue, joué un rôle décisif dans la mobilisation de la communauté internationale —, la lutte contre la prolifération des systèmes SATCP a fait des progrès significatifs. Plus de quatre-vingt-quinze pays ont adopté des accords établissant des normes minimales de contrôle des exportations de SATCP et des dizaines d'autres les ont approuvées sans signature contraignante⁽¹⁸²⁾. Au moins 21 000 systèmes considérés comme excédentaires et/ou mal sécurisés ont été détruits, et les programmes visant à améliorer la sécurité des stocks ont permis de réduire considérablement les risques de dissémination. Les programmes de rachat et les opérations clandestines diverses ont également permis de capturer des centaines de missiles illicites en Irak, en Afghanistan, en Somalie, en Tchétchénie et ailleurs⁽¹⁸³⁾.

Toutefois, la menace SATCP persiste, comme en témoignent les importants stocks découverts en 2011 du côté des forces loyalistes libyennes. Face à une prolifération persistante, l'impératif majeur reste le respect par les pays producteurs des arrangements de Wassenaar (1996) qui visent à promouvoir la transparence et une plus grande responsabilité dans les transferts d'armes conventionnelles et de technologies à usage dual, afin d'éviter des disséminations dangereuses⁽¹⁸⁴⁾. L'application des procédures diffusées par l'OSCE sur la gestion et la sécurité des stocks devrait également permettre, soit par un accord global, soit par l'adoption d'accords *ad hoc* contraignants, de contribuer grandement à la maîtrise de la prolifération des systèmes. Idéalement, ces dispositions devraient inclure des mécanismes de surveillance et d'application à la manière des autres traités d'*arms control*. Au minimum, les échanges d'informations réguliers permettent d'entretenir une compréhension générale de la menace et de sa dissémination⁽¹⁸⁵⁾.

(180) Entretiens avec des experts civils et militaires.

(181) Entretien avec des experts militaires.

(182) Bevan, « MANPADS : Big Issue, Big Problem? », *op. cit.*, p. 93.

(183) Matt Schroeder, « Global efforts to control MANPADS », in *SIPRI Yearbook 2007*, Stockholm, SIPRI, 2006, p. 623.

(184) Australian Strategic Policy Institute, *Man-Portable Air Defence Systems (MANPADS) Countering the Terrorist Threat*, Canberra, juin 2008, p. 19

(185) Entretien téléphonique avec un expert civil.

Des procédures internationales existent également pour favoriser l'adoption de technologies de contrôle des systèmes de mise à feu. De telles mesures semblent aujourd'hui tout à fait applicables *via* l'utilisation de dispositifs *ad hoc* à la manière du *controlable enabler* proposé à l'époque par l'*Arms Control and Disarmament Agency* américaine, qui nécessite la saisie d'un code à huit chiffres permettant d'activer la charge du missile pour une durée limitée au-delà de laquelle le missile sera inutilisable jusqu'à ce qu'il soit réintégré. L'installation de tels dispositifs permettrait non seulement de raccourcir la durée de vie des systèmes perdus, volés et détournés, mais encore de réduire le volume du marché noir. Pourtant, malgré leur potentiel en matière de lutte contre la prolifération, le manque de volonté politique reste patent ; ces fonctionnalités restent cantonnées au stade de projet et aucune n'a encore été mise en œuvre par un pays ou un industriel constructeur de systèmes⁽¹⁸⁶⁾.

ADAPTER UN OUTIL ENCORE MAL DIMENSIONNÉ POUR LES « PETITES GUERRES »

Le problème spécifique des moyens SATCP ne doit pas occulter des questionnements plus larges impliquant une réflexion en profondeur sur les schémas tactiques comme sur les cadres d'opérations. Après plus de dix années de guerres asymétriques marquées par l'immobilisation des combattants, les frustrations tactiques, l'absence de décision opérationnelle et surtout les pertes, il est aisé de comprendre la tentation actuelle du retour à une guerre « hors-sol », parfaitement incarnée par l'usage des drones dans les opérations d'élimination de cibles à haute valeur ajoutée. Face à ce désir de rééquilibrage, il semble plus important que jamais pour les armées de l'air occidentales de ne pas mépriser ce qui reste encore à ce jour « la guerre probable »⁽¹⁸⁷⁾, et qui est loin d'être dénuée d'enjeu pour la supériorité aérienne.

Les difficultés rencontrées au début de la décennie dans le domaine de l'intégration des feux, et notamment du *Close Air Support* (CAS), ont ouvert un vaste chantier de révision des rôles et des procédures permettant de profiter pleinement du potentiel tactique de l'appui aérien. Toutefois, loin de se limiter aux questions techniques, ces efforts doivent englober l'ensemble des conceptions opérationnelles de l'appui-feu, jusqu'à inclure un travail sur la notion même de manœuvre aéroterrestre, travail qui passe par une appréhension partagée des enjeux avec les forces terrestres. En dix ans, des progrès considérables ont en effet été réalisés en matière de formation, de déconcentration et de déconfliction des procédures interarmées relatives à l'appui-feu⁽¹⁸⁸⁾. Ces efforts ont amené à revenir largement sur la marginalité originelle du *Close Air Support* qui a pris la place qui lui revient parmi les grandes missions, et est même devenu en quelques années « l'un des centres de gravité de l'arme aérienne »⁽¹⁸⁹⁾.

(186) Schroeder, « Global efforts to control MANPADS », *op. cit.* p. 631.

(187) Vincent Desportes, *La Guerre probable*, Paris, Economica, 2008.

(188) Elie Tenenbaum, « Entre ciel et terre. Le débat air-sol et les défis de l'appui-feu », *op. cit.*, p. 39-45.

(189) Entretien avec un expert militaire.

Si elles veulent véritablement déboucher sur une rénovation du partenariat air-sol, ces considérations opérationnelles doivent en effet être accompagnées d'une réflexion raisonnée sur les plateformes et plus généralement sur les perspectives technologiques et industrielles permettant d'adapter l'outil aérien à la guerre asymétrique. L'expérience de l'Afghanistan, confirmée aujourd'hui à moindre degré au Mali, a en effet montré la véritable addiction développée par les forces terrestres à la présence d'un appui aérien précis, rapide et persistant. Parallèlement, ces engagements ont également démontré la difficulté, pour les forces aériennes occidentales, calibrées comme elles le sont pour la haute intensité et la linéarité relative du champ de bataille, de faire face à des tactiques irrégulières telles que le *hugging*.

Face à ce décalage, la question des plateformes dédiées à ce type de missions se pose aujourd'hui avec acuité. En janvier 2012, le Pentagone a annoncé la suppression de cinq escadrons, soit 50 % de la flotte d'A-10, seul appareil unanimement reconnu pour son bilan exceptionnel en matière de CAS d'antiguérilla. Introduit dans les forces en 1976, l'appareil ne dispose à ce jour d'aucun programme de remplacement, préparant ainsi à terme l'une des rares lacunes capacitaires des forces aériennes américaines⁽¹⁹⁰⁾.

Face à ce défi majeur, les drones peuvent faire figure de plateforme idéale pour assurer un appui aérien aux forces engagées sur des théâtres asymétriques. Au sortir de dix années de progrès considérables – notamment *via* l'emploi des MQ-1 *Predator* et MQ-9 *Reaper* dans des missions « d'ISR armé » souvent associées à l'élimination physique « de cibles à haute valeur stratégique » –, ces appareils n'ont plus à démontrer leurs atouts dans des contextes de basse et moyenne intensité. L'avantage essentiel du drone armé est son endurance sans égale, puisque ce dernier peut rester en vol pendant 24 heures. De plus, il combine les fonctions de surveillance et reconnaissance (ISR) avec les moyens d'engagement des cibles, là où les plateformes traditionnelles sont spécialisées, le temps de latence entre reconnaissance et frappe étant souvent une cause d'échec face à un ennemi mobile et furtif. Enfin, l'absence de pilote rend la perte de l'appareil plus tolérable sur le plan politique – même si son coût reste trop élevé pour en faire un usage imprudent (*cf.* « Options pour des puissances moyennes » et « développer des moyens d'attaque électronique » *supra*). Le drone ne comporte toutefois pas que des qualités : sa faible vitesse le rend peu disponible pour des requêtes en urgence, elle le rend également très vulnérable aux tirs depuis le sol ; son emport tactique est encore fortement limité et il ne dispose pas de canon, une arme pourtant très utile dans les missions CAS ; enfin et surtout, se pose le problème du développement de drones armés encore très rares dans les forces occidentales en dehors des Américains. Si la France semble être décidée à acquérir des *Reaper* « sur étagère », elle ne devrait

(190) David A. Fulghum, « US Air Force Reveals Budget Cut Details », *Aviation Week*, 3 février 2012, accessible à l'adresse : http://www.aviationweek.com/aw/generic/story_channel.jsp?channel=defense&id=news/awx/2012/02/02/awx_02_02_2012_p0-420642.xml

pas disposer d'une base technologique et industrielle capable de produire de tels appareils avant 2020⁽¹⁹¹⁾.

Compte tenu de ces interrogations, l'insistance des tenants de la contre-insurrection, au premier rang desquels l'*US Army* et le corps des *Marines*, a également poussé l'*USAF* à lancer en 2009 le programme *Light Attack and Armed Reconnaissance* (LAAR) pour un avion dédié. Le projet n'en est cependant qu'au stade de la demande de proposition et aucun appel d'offres n'a été émis⁽¹⁹²⁾. Au moins six firmes se sont tout de même portées sur le marché, parmi lesquelles Boeing qui propose une résurrection de l'*OV-10 Bronco*, célèbre avion d'observation d'artillerie dans la guerre du Vietnam. Néanmoins, le coût d'adaptation d'appareils rustiques aux capacités C4ISTAR minimales pour une bonne insertion dans l'espace de bataille pourrait vite limiter l'intérêt financier d'un tel appareil⁽¹⁹³⁾.

Comme l'on pouvait s'y attendre, ces perspectives de développement d'un appareil *low tech* centré sur le seul CAS de contre-guérilla ont été vertement critiquées par certains tenants d'un *airpower* plus traditionnel. Richard Hallion affirme par exemple qu'investir dans ce type de plateforme serait « stupide, compte tenu de l'état actuel des capacités de défense aérienne à la disposition d'insurgés même légèrement armés »⁽¹⁹⁴⁾. En guise de mise en garde, il rappelle les pertes subies par les Israéliens lors de la guerre de Kippour, pendant laquelle 60% des appareils abattus l'ont été lors de missions CAS. Plutôt que d'investir dans des plateformes potentiellement inutilisables face à une menace, même limitée, mais possédant des moyens anti-aériens performants, les planificateurs devraient donc selon lui plutôt se concentrer sur des moyens ISR à partir de drones capables de transmettre l'information à des unités d'appui.

Dans le même ordre d'idées, le colonel Julius Clark de l'*US Army* rappelle que l'extraordinaire disponibilité des armées de l'air pour des missions CAS au cours des dix dernières années est due à un contexte particulier de domination aérienne totale, face à des adversaires irréguliers, dénués de défenses aériennes. Il serait donc dangereux de développer une doctrine fondée sur un usage qui pourrait bien se révéler « l'exception plutôt que la règle »⁽¹⁹⁵⁾. Le CAS demeurant une mission secondaire de l'*Air Power*, loin derrière la supériorité aérienne, l'attaque stratégique ou la frappe d'interdiction, il deviendrait bien rare dans un conflit contre un ennemi en possession de moyens supérieurs.

(191) Michel Cabriol, « Défense : la France veut se doter d'un drone MALE armé », *La Tribune*, 5 avril 2013.

(192) Stephen Trimble, « Irregular warfare offers new role for propeller driven aircraft », *Flight International*, 26 octobre 2010.

(193) Sophie Lefeez, « Toujours plus chers ? », *op. cit.*, p. 24.

(194) Richard Hallion, « Air and Space Power : Climbing and Accelerating », in J. Olsen (dir.), *A History of Air Warfare*, *op. cit.*, p. 390.

(195) Julius E. Clark, « CAS, Myths, Realities and Planning Principles », *Field Artillery*, juillet-août 2005, p. 21.

Ces réflexions capacitaires ont des résonances politiques et stratégiques importantes sur l'emploi des forces aériennes dans un cadre expéditionnaire. Alors que l'opération *Harmattan* en 2011 a démontré la vivacité d'un modèle d'intervention fondé sur la combinaison, *a priori* gagnante, de frappes aériennes à distance de sécurité, de forces locales aguerries et de forces spéciales assurant la coordination du tout, il importe de se pencher sur la viabilité d'un tel schéma opératoire et sur les risques qu'il comporte.

LES DANGERS DU « MODÈLE AFGHAN »

Le succès initial de l'opération *Enduring Freedom* à l'automne 2001 a marqué pour de nombreux spécialistes une véritable rupture dans l'emploi de l'arme aérienne pour affronter un adversaire irrégulier (ou, dans le cas des Talibans de l'époque, hybride)⁽¹⁹⁶⁾. Face à l'urgence de la réponse au défi posé par le 11 septembre, la Maison-Blanche ne pouvait se permettre la lenteur d'un déploiement conventionnel massif similaire à celui qui a précédé la guerre du Golfe. C'est donc le plan proposé par le directeur de la CIA, George Tenet, qui est choisi, proposant de faire tomber le régime des Talibans en se reposant sur les forces rebelles de l'Alliance du nord, aidées par des frappes aériennes de précision, elles-mêmes guidées par des forces spéciales servant essentiellement de contrôleurs aériens avancés⁽¹⁹⁷⁾. Ce schéma opérationnel atteste bien de la volonté, affichée dès 2000 par Donald Rumsfeld, d'alléger le dispositif terrestre des campagnes militaires. Préfiguré au Kosovo (1999), couronné de succès lors d'*Enduring Freedom* (2001), ce mode d'action a aussi été appliqué, peu ou prou, en Libye lors de l'opération *Harmattan* (2011).

Les progrès considérables réalisés par le CAS depuis une décennie, tant en matière de procédures de contrôle que de technologie de guidage terminal, permettent au « modèle afghan » d'atteindre aujourd'hui une efficacité militaire et une efficience – au regard des moyens déployés – sans précédent. Mais son intérêt, il faut le souligner, est d'abord d'ordre politique, la faible « empreinte au sol » permettant de minimiser les risques liés aux pertes, de réduire l'exposition médiatique et de maximiser la vitesse d'intervention⁽¹⁹⁸⁾.

Le degré de coordination exigé par une telle intégration des feux est bien entendu compliqué par l'emploi de troupes étrangères, peu rompues aux procédures américaines de CAS. Ainsi, lors de la bataille de Bai Beche, le 5 novembre 2001, la cavalerie de Rashid Dostum, leader ouzbek de l'Alliance du Nord, se lance à l'attaque de positions défensives tenues par les Talibans avec l'appui massif de frappes aériennes guidées par un détachement de forces spéciales. Le manque de coordination avec les hommes de Dostum les conduit à prendre un signe de mise en garde des Américains pour un ordre d'assaut. La charge

(196) Max Boot, « The New American Way of War », *Foreign Affairs*, vol. 82, n° 4, juillet-août 2003, p. 41-58 ; Richard B. Andres, Craig Wills, Thomas E. Griffith Jr., « Winning with Allies : The Strategic Value of the Afghan Model », *International Security*, vol. 30, n° 3, hiver 2005/2006, p. 129.

(197) Stephen D. Biddle, « Afghanistan and the Future of Warfare », *Foreign Affairs*, vol. 82, n° 2, mars-avril 2003, p. 31.

(198) Pascal Vennesson, « Bombardeur pour convaincre ? », *Cultures & conflits*, n° 37, hiver 2001.

est donnée au moment même où une série de bombes guidées laser GBU-12 sont larguées au-dessus de l'ennemi. Les officiers américains regardent alors médusés les cavaliers afghans s'enfoncer dans le nuage de poussière, «certains d'avoir provoqué un tir fratricide»⁽¹⁹⁹⁾. On a su par la suite que les bombes avaient frappé le sol quelques instants seulement avant le passage des cavaliers. La surprise des défenseurs est totale et la percée une grande réussite qui ouvre ainsi la voie de Mazar aux combattants alliés. Le résultat est cependant à la mesure de l'énorme risque pris. Il démontre ainsi les dangers d'un mode opératoire dont le succès dépend de la présence d'alliés au sol, capables d'agir efficacement, c'est-à-dire de manière coordonnée avec la manœuvre aérienne.

Plus récemment, les pays occidentaux ont à nouveau eu recours à un schéma opérationnel proche de «l'*Afghan Model*», lors de l'intervention militaire au-dessus de la Libye en aide au mouvement de rébellion contre Mouammar Kadhafi. Dès les premiers jours de l'opération *Harmattan*, la France reconnaît avoir mené dans la région de Benghazi «des frappes sur des cibles militaires identifiées au sol qui menacent la population civile»⁽²⁰⁰⁾. Comme en 1999 au Kosovo⁽²⁰¹⁾, l'absence de contrôleurs au sol entrave considérablement la fluidité de l'appui au profit des forces rebelles. Dans un contexte urbain, propice aux dommages collatéraux, la règle de «l'identification positive», c'est-à-dire de la confirmation visuelle d'une cible, apparaît certes comme une nécessité mais également comme une contrainte de poids lorsqu'il s'agit de «soulager des alliés pris sous le feu»⁽²⁰²⁾ et généralement imbriqués avec leurs adversaires.

Même dans sa version plus engagée, avec la présence de troupes légères ou de forces spéciales capables d'éclairer les cibles, le «modèle afghan» suscite des inquiétudes. Lors de la guerre du Liban de 2006, l'armée israélienne a pu se rendre compte des limites pesant sur les opérations menées à distance de sécurité. Selon le chercheur israélien et ancien pilote de chasse Ron Tira, la dépendance de ces éventuels contrôleurs aériens avancés à l'égard des moyens de communication longue portée permanents pose la question de leur survivabilité face à un adversaire capable de rompre ce lien et de les isoler à des dizaines, centaines voire milliers de kilomètres de leurs bases⁽²⁰³⁾.

(199) Stephen D. Biddle, «Allies, Airpower, and Modern Warfare. The Afghan Model in Afghanistan and Iraq», *International Security*, vol. 30, n° 3, hiver 2005-2006, p. 169.

(200) Ministère de la Défense, «Libye : point de situation opération Harmattan n° 1», [Defense.gouv.fr](http://www.defense.gouv.fr), 25 mars 2011, accessible à l'adresse : <http://www.defense.gouv.fr/operations/autres-operations/operation-harmattan-libye/actualites/libye-point-de-situation-operation-harmattan-n-1>

(201) Des difficultés similaires avaient été rencontrées deux ans plus tôt au Kosovo lors de l'opération *Allied Force* en 1999, qui ne disposait d'aucune force au sol – en dehors des partisans indépendantistes de l'UÇK. Les pilotes de l'OTAN doivent s'assurer qu'ils ne provoquent pas de dommages collatéraux lors de leurs frappes au cours de mission qui ne sont pas libellées «CAS» mais en ont beaucoup de caractéristiques. Faute de guidage terminal au sol, les appareils sont obligés d'avoir recours à un contrôle aérien embarqué (FAC-A) dans lequel la moindre couverture nuageuse peut empêcher le ciblage aérien et ainsi annuler la mission. Entretien avec un expert militaire.

(202) Entretien avec un expert militaire.

(203) Ron Tira, *The Limitations of Standoff Firepower-Based Operations : On standoff Warfare, Maneuver, and decision*, Tel Aviv, Institute for National Security Studies, Memorandum n° 89, 2007.

En définitive, il est important de rappeler l'exceptionnalité des conflits récents au regard de l'histoire. Si l'on étudie, sur un plan prospectif, les caractéristiques d'une guerre majeure face à un adversaire, sinon symétrique, du moins doté de moyens de défense aérienne efficaces, il apparaît vite que la permanence CAS ne peut être tenue pour acquise. Comme la seconde guerre mondiale ou la guerre de Kippour l'ont démontré, les missions de supériorité aérienne et de SEAD conditionnent la possibilité de l'appui aérien, et doivent avoir donc la priorité sur celui-ci. Des forces terrestres trop habituées au soutien de la « cavalerie de l'air » pourraient ainsi se retrouver fort dépourvues, si un jour le ciel n'était plus vide au-dessus d'elles.

QUELLE ADAPTATION CONCEPTUELLE ?

Les conceptions de la guerre aérienne sont à l'image des opérations menées au cours des deux dernières décennies, au cours desquelles l'Occident a pu jouir d'une supériorité quasi-absolue. Forgés à une époque caractérisée par une marge de supériorité très élevée, les concepts opérationnels et autres postures stratégiques associées pourraient perdre en pertinence, si l'actuelle tendance au renforcement des divers moyens de contestation de la supériorité aérienne occidentale se maintient au cours des quinze à vingt prochaines années. Une double interrogation se fait donc jour : quels concepts opérationnels pourraient être pertinents afin de répondre aux risques de contestation de la puissance aérienne ? En quoi cela pourrait-il affecter nos orientations stratégiques ?

AIR-SEA BATTLE ET AU-DELÀ : DÉBATS OPÉRATIONNELS POUR LES INTERVENTIONS FUTURES

Derrière le terme d'*Air-Sea Battle*, mis en avant par le Pentagone depuis quelques années, se dessine la réponse américaine face à l'affirmation de capacités de déni d'accès et d'interdiction. Cette nouvelle incarnation d'anciennes thématiques de la « révolution dans les affaires militaires » et de la « transformation rumsfeldienne » n'épuise pourtant pas le sujet, et est loin de répondre aux problèmes spécifiques des puissances aériennes de second rang telles que la France. Celle-ci doit au contraire formuler ses propres concepts opérationnels face aux défis émergeant dans son environnement direct.

AIR-SEA BATTLE, *JOAC* ET L'ÉTERNEL RETOUR DE LA TRANSFORMATION

La préoccupation du Pentagone quant à la menace posée par les stratégies de déni d'accès et d'interdiction de zone n'est pas récente. Émergente dans les années 1990, la question du déni d'accès aérien, posée par la diffusion de systèmes SAM « double-digit » et de capacités C4ISR décuplées était déjà au cœur de la vision de la « transformation militaire » appelée de ses vœux par Donald Rumsfeld à partir de 2000 et émergeait d'ailleurs à l'occasion de la révision quadriennale de la politique de défense (QDR) conduite en 2001⁽²⁰⁴⁾.

(204) *Quadrennial Defense Review Report*, Washington, Department of Defense, septembre 2001, p. 31, 43-44.

Bien que l'accès à un pays aussi enclavé que l'Afghanistan ait en tant que tel représenté un défi pour les forces aériennes occidentales, l'absence de défense aérienne talibane leur a permis d'intervenir en toute impunité. Il faut attendre la seconde moitié des années 2000 et l'incapacité à vaincre les insurrections en Irak, puis en Afghanistan, pour que la transformation passe au second plan des préoccupations du Pentagone. L'effort opéré par les équipes de Robert Gates en termes d'investissements dans les conflits en cours au Moyen-Orient et en Asie centrale a eu des traductions budgétaires significatives et immédiates, sous la forme d'une réaffectation de fonds au bénéfice des forces terrestres. Cette redistribution est néanmoins temporaire, et n'empêche pas le Pentagone de financer des capacités destinées à maintenir un avantage américain face à la prolifération de systèmes avancés, qu'il s'agisse du futur bombardier de l'*Air Force* (LRSB), de DAMB, du remplacement du SNLE de classe *Ohio* ou du renouvellement du complexe nucléaire.

Depuis le désengagement effectif de l'Irak et la définition d'un calendrier de retrait d'Afghanistan, les capacités anti-A2/AD sont ainsi devenues l'une des priorités capacitaires du Pentagone. La *Defense Strategic Guidance* publiée par le Pentagone en janvier 2012 établit en effet comme axe prioritaire la préparation face aux menaces à long terme, dont en particulier le problème posé par les stratégies visant à empêcher ou à perturber des opérations de projection de forces⁽²⁰⁵⁾. Le Pentagone renoue ainsi avec sa préférence pour l'action à distance de sécurité, et a rendu à partir de début 2012 des arbitrages budgétaires essentiellement défavorables aux forces terrestres – un mouvement confirmé un an après sous la forme des propositions du Pentagone pour le budget 2014⁽²⁰⁶⁾. L'incarnation la plus nette de cette tendance est l'initiative *Air-Sea Battle* (ASB). Mentionnée dans la QDR 2010⁽²⁰⁷⁾, mais seulement exposée début 2012, cette initiative est un effort conjoint des armées américaines – *Air Force* et *Navy* à l'origine, maintenant rejointes par les forces terrestres – visant à mieux coopérer pour l'emporter face à des menaces A2/AD.

ASB part du constat que les capacités A2/AD (sous-marins, mines, missiles balistiques et de croisière pouvant frapper les flottes et bases avancées, défense sol-air intégrée à longue portée...) représentent une menace complexe, intégrée et variée⁽²⁰⁸⁾. À un niveau conceptuel, ASB entend répondre à ce défi par le développement d'une synergie interarmées, reprenant le lien traditionnel entre transformation et *jointness*⁽²⁰⁹⁾. Cette recherche de synergie entend

(205) *Sustaining U.S. Global Leadership : Priorities for the 21st Century Defense*, Washington, Department of Defense, janvier 2012.

(206) Par exemple, les fonds prévus pour l'*US Army* en 2014 devraient baisser de 4% par rapport à ceux attribués en 2013. *Fiscal year 2014 Budget Request and FY 2013 Update*, Washington, Department of Defense, Office of the undersecretary of Defense (Comptroller) / Chief Financial Officer, avril 2013, p. 25.

(207) *Quadrennial Defense Review Report 2010*, Washington, Department of Defense, février 2010, p. 32.

(208) Voir par exemple Andrew Krepinevich, *Why AirSea Battle?*, Washington, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2010.

(209) Étienne de Durand, « L'interarmées aux États-Unis. Rivalités bureaucratiques, enjeux opérationnels et idéologie de la *jointness* », *Focus stratégique*, n° 3, novembre 2007, p. 17-22.

pousser la complémentarité entre armées au point où chaque armée protège et compense les vulnérabilités des autres. Chaque plateforme étant à même d'assumer un nombre de fonctions de plus en plus conséquent⁽²¹⁰⁾, les opportunités pour une coopération interarmes et interarmées étroite pourraient ainsi être démultipliées.

Si l'on excepte les publications non officielles, qui comblaient le vide laissé par une communication officielle particulièrement défailante sur l'ASB⁽²¹¹⁾, la principale incarnation d'*Air-Sea Battle* au niveau conceptuel est le *Joint Operational Access Concept* (JOAC)⁽²¹²⁾. Le concept met en avant la notion « d'attaque en profondeur intégrée et en réseau » (*Networked, Integrated, Attack in Depth*) et, consacrant un retour aux thèmes de la transformation militaire, met l'accent sur l'interconnexion entre plateformes dans des réseaux C3 redondants, la multiplication des capacités ISR et le développement de moyens de fusion de données. La mutation des systèmes de contrôle et de commandement doit ainsi permettre de répondre au défi d'une défense intégrée par une capacité à combiner sur le théâtre d'opération, de manière décentralisée et *ad hoc*, des moyens extrêmement variés (SNA, chasseurs de 5^e génération, attaques cybernétiques, drones, etc.). Pour un problème opérationnel donné, par exemple la neutralisation de défenses aériennes à longue portée, il s'agit donc de pouvoir combiner au mieux, selon l'environnement tactique et géographique, les moyens accessibles sur le théâtre – recueil ROEM par le mâât des SNA, les avions et satellites d'écoute⁽²¹³⁾; furtivité et ISR embarqué – voire moyens de frappe – des F-22; brouillage offensif des NGJ portés par des EA-18G *Growler* pouvant également tirer des missiles antiradar; capacités de frappe de précision par drones furtifs...

La mise en réseau des plateformes permet non seulement des combinaisons décentralisées et adaptées aux besoins propres à la situation locale, mais également une plus grande aptitude à la surprise. Nécessairement dispersées en début d'opération, à des fins de protection et de résilience face aux complexes de reconnaissance-frappe (CRF) adverses, les forces impliquées dans l'opération d'entrée en premier doivent ainsi pouvoir être coordonnées sur de longues distances et concentrées rapidement pour obtenir des effets décisifs⁽²¹⁴⁾.

(210) Les chasseurs modernes peuvent faire du recueil ISR, de la frappe au sol et de l'interception; les frégates font de la lutte ASM, du combat naval, de la défense aérienne – voire de la DAMB – et de la frappe en profondeur; les sous-marins d'attaque font du recueil ISR, de l'infiltration de forces spéciales, de la frappe dans la profondeur, de la lutte ASM, de la lutte antisurface...

(211) Mark Gunzinger et Christopher Dougherty, *Outside-In. Operating from Range to Defeat Iran's Anti-Access and Area-Denial Threats*, Washington, Center for Strategic Budgetary Assessments, 2012; Jan van Tol et al., *AirSea Battle. A Point-of-Departure Operational Concept*, Washington, Center for Strategic Budgetary Assessments, 2010.

(212) *Joint Operational Access Concept*, Washington, Department of Defense, 17 janvier 2012. Voir également Norton A. Schwartz et Jonathan W. Greenert, « Air-Sea Battle : Promoting Stability in an Era of Uncertainty », *The American Interest*, 20 février 2012, <http://www.the-american-interest.com/article.cfm?piece=1212>

(213) Owen R. Coté Jr, « Submarines in the Air Sea Battle », Johns Hopkins University/Applied Physics Laboratory Submarine Technology Symposium, 2010.

(214) Geoffrey Till, *Asia's naval expansion. An arms race in the making?*, Londres, IISS/Routledge, 2012, p. 33.

La synergie interarmées est donc complétée au niveau opératif par la recherche de la surprise et, pour ce faire, la multiplication des lignes d'opérations indépendantes et poursuivies en parallèle, le recours à la « déception », à la guerre électronique et aux moyens cybernétiques. Le JOAC ne pose pas comme impératif une supériorité militaire américaine permanente sur l'ensemble du théâtre, mais insiste sur la recherche d'une supériorité locale et temporaire, qui permette de frapper les points critiques des défenses de l'adversaire, et ainsi de parvenir à une désorganisation de sa posture, puis à sa défaite⁽²¹⁵⁾. Le concept met donc moins l'accent sur la destruction des moyens de l'adversaire que sur le démantèlement du système adverse par une série d'actions cinétiques et non cinétiques entraînant des effets fonctionnels de grande ampleur. Cela peut donc impliquer des actions visant des cibles – centres de commandement régionaux ou nationaux, radars à très longue portée, dépôt de missiles balistiques, etc. – situées dans la profondeur du territoire de l'adversaire et potentiellement protégées par deux ou trois couches de défenses sol-air intégrées.

Nouvel avatar de la transformation, ASB constitue un concept ambitieux pouvant en théorie démanteler des postures A2/AD adossées aux moyens les plus sophistiqués. Sa réalisation pourrait néanmoins se heurter à plusieurs problèmes de taille. Comme tout concept hérité de la « révolution dans les affaires militaires » liée aux technologies de l'information, ASB devrait tout d'abord s'avérer extrêmement consommateur en données et, par là même, renforcer la dépendance vis-à-vis des systèmes C4ISR⁽²¹⁶⁾. Or, la synergie activement recherchée jusqu'au plus bas niveau de l'action pourrait se heurter à de sérieux problèmes en termes d'interopérabilité technique⁽²¹⁷⁾. De plus, dans un environnement cybernétique et électromagnétique de plus en plus contesté – probablement le milieu le plus contesté de tous –, il pourrait être dangereux de renforcer encore une dépendance déjà extrême à l'égard des systèmes C4ISR.

DILEMMES OPÉRATIONNELS ET RÉNOVATION CONCEPTUELLE POUR LES PUISSANCES MOYENNES

Par bien des aspects, les principes exposés à ce stade par *Air-Sea Battle* sont adaptés aux spécificités de la situation américaine et reflètent les avantages comparatifs des États-Unis : développement d'une palette très élargie d'options, concepts opérationnels marqués par une aversion au risque, etc. Ces préférences semblent en général être d'un intérêt limité pour imaginer les concepts opérationnels pouvant guider l'action des forces aériennes françaises face à une contestation de la supériorité aérienne dans leur environnement proche. Certains pans des débats en cours aux États-Unis peuvent néanmoins éclairer quelques-uns des dilemmes français.

(215) *Joint Operational Access Concept*, Washington, Department of Defense, 17 janvier 2012.

(216) Voir par exemple *Air Sea Battle Doctrine. A Discussion with the Chief of Staff of the Air Force and Chief of Naval Operations*, The Brookings Institution, 16 mai 2012, p. 31-32.

(217) Van Tol *et al.*, *AirSea Battle. A Point-of-Departure Operational Concept*, *op. cit.*, p. 112-114.

Positionnement impossible, guerre improbable ? L'existence de réseaux de bases aériennes de théâtre demeure un prérequis à toute opération américaine de projection de forces. L'exposition croissante de telles infrastructures à des moyens de frappe diversifiés suscite outre-Atlantique de nombreuses craintes, ainsi que l'étude de concepts d'opérations insistant sur le *sea-basing* comme substitut aux bases aériennes de théâtre, ou sur la constitution d'un modèle de projection aérienne à très longue distance, s'appuyant en particulier sur les B-2 et sur les futurs LRSB – dont le Pentagone prévoit pour l'heure 80 à 100 exemplaires⁽²¹⁸⁾. De tels plans se heurteraient néanmoins à d'autres limites, qu'il s'agisse de la vulnérabilité croissante des porte-avions ou de l'impossibilité pour Washington de mettre fin à la présence physique d'unités américaines sur le territoire d'alliés qu'elles sont légalement tenues de défendre⁽²¹⁹⁾.

Difficilement envisageable pour les États-Unis, aucune de ces deux options n'apparaît pertinente pour la France. Bien qu'il constitue un atout indéniable, le *Charles-de-Gaulle* ne peut générer qu'un volume relativement faible de sorties offensives en comparaison du nombre de chasseurs embarqués⁽²²⁰⁾, et il semble réaliste de considérer que la France ne possèdera aucun bombardier stratégique à long rayon d'action à l'horizon des années 2025-2030. L'armée de l'air pourrait avoir à conduire une opération dans un environnement régional où ses possibilités d'accès sont nulles ou peu sécurisées (hangars non-durcis, défenses contre les missiles balistiques et de croisière peu robustes, etc.). Dans l'hypothèse où la tendance au renforcement des systèmes défensifs se confirmerait, il serait nécessaire pour l'armée de l'air d'engager une réflexion quant à la pertinence et à la soutenabilité de ses concepts d'opérations dans des situations d'élongation poussée, et quant à la nature et au volume des effets cinétiques réalisables dans de telles circonstances.

Pénétration ou contournement ? Manœuvre aérienne et espaces lacunaires. Bien que les responsables américains aient affirmé à de nombreuses reprises qu'*Air-Sea Battle* n'était pas un plan destiné à percer les défenses chinoises, il n'en demeure pas moins que les conceptions américaines comme ASB et le JOAC sont structurées autour du scénario, dimensionnant pour les États-Unis, d'une guerre en Asie-Pacifique. Le cas chinois présente incontestablement un système défensif extrêmement complet – probablement le plus diversifié qui

(218) David Axe, « Why the US Wants a New Bomber » (interview avec David Deptula), *The Diplomat*, 6 mai 2012, <http://thediplomat.com/2012/05/06/why-the-u-s-wants-a-new-bomber/>; Dave Majumdar, « USAF targets long-range strike bomber », *Flight Global*, 15 octobre 2012, <http://www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-usaf-targets-long-range-strike-bomber-377597/>

(219) En Asie Pacifique, les États-Unis ont signé des accords de défense contraignants avec l'Australie, la Corée du Sud, le Japon, la Thaïlande et les Philippines. Sur le futur de la présence américaine dans la région, voir David J. Berteau et Michael J. Green (dir.), *US Force Posture Strategy in the Asia Pacific Region : An Independent Assessment*, Washington, Center for Strategic and International Studies, 2012. Sur les porte-avions, voir notamment Henry J. Hendrix, *At What Cost a Carrier?*, Washington, Center for a New American Security, 2013; John Patch, « Fortress at Sea? The Carrier Invulnerability Myth », *Proceedings*, vol. 136, n° 1, janvier 2010, <http://www.usni.org/magazines/proceedings/2010-01/fortress-sea-carrier-invulnerability-myth>

(220) Voir par exemple les chiffres de Jean-Marc Tanguy au sujet des opérations en Libye. Jean-Marc Tanguy, *Harmattan. Récits et révélations*, Paris, Nimrod, 2012, p. 114.

soit – ayant pour objectif quasiment unique d’empêcher une opération de projection américaine.

Or, et selon toute probabilité, la France ne sera pas confrontée à un défi militaire tel qu’une posture combinant défenses sol-air multicouches échelonnées en profondeur, chasseurs de 4^e génération modernisés – voire de 5^e génération – et capacités de frappe nombreuses et performantes (missiles balistiques et de croisière). Bien que des capacités de pénétration dans l’enveloppe de la menace puissent faire cruellement défaut face à des systèmes SAM modernes et à longue portée, la plupart des adversaires potentiels ne posséderont pas ce type de systèmes, et devraient plutôt être protégés par des dispositifs défensifs présentant des faiblesses, sous la forme de systèmes longue portée quasi-obsolètes ou de capacités à courte ou moyenne portée plus modernes (SA-11, SA-15), sans pour autant être de dernière génération (SA-17, SA-22). N’offrant qu’une couverture lacunaire du territoire adverse, de tels systèmes de défense de zone ou de point pourraient pourtant représenter une menace conséquente pour les aéronefs français, en raison de leur haut niveau de mobilité et des ECCM équipant leurs missiles.

Le développement par la France d’une gamme complète de capacités SEAD dédiées paraissant hors de portée financière à l’horizon considéré, une réponse nationale à ce type de problème tactico-opérationnel pourrait combiner une conception des opérations aériennes fondée sur l’art de la manœuvre, certains atouts techniques et tactiques (entraînement, guerre électronique défensive, etc.) qu’il importe de préserver – voire de renforcer – dans le futur, enfin quelques modifications ou additions capacitaires, en fonction des ressources budgétaires disponibles.

Conséquence de la supériorité aérienne occidentale révélée par la guerre du Golfe, la manœuvre, souvent privilégiée par le belligérant en situation de faiblesse, a pu passer au second plan des réflexions conceptuelles des armées de l’air⁽²²¹⁾. Elle apparaît pourtant comme l’un des axes permettant de conserver un avantage militaire face à la contestation croissante de la supériorité aérienne. La manœuvre peut être entendue comme un « mode stratégique, opératif et tactique »⁽²²²⁾ qui, « au lieu d’aborder l’ennemi de manière frontale, [...] vise à agir sur ses points faibles, le déborder, à l’encercler, à le couper de ses bases de ravitaillement, bref à le désorganiser, à le dissocier à un tel degré qu’il perde sa capacité combattante »⁽²²³⁾. Son efficacité repose notamment sur les facteurs suivants : le tempo de l’action, qui doit être supérieur à celui de l’ennemi, l’effet

(221) Jean-Christophe Noël, « La manœuvre aérienne en question », in Christian Malis (dir.), *Guerre et manœuvre. Héritages et renouveau*, Paris, Economica, 2009, p. 201-202.

(222) Hervé Coutau-Bégarie, « Manœuvre », in Thierry de Montbrial et Jean Klein (dir.), *Dictionnaire de stratégie*, Paris, PUF, 2001, p. 341.

(223) Hervé Coutau-Bégarie, *Traité de stratégie*, Paris, Economica, 1999, p. 376.

de surprise, la concentration des forces et la décentralisation de l'initiative⁽²²⁴⁾. Contrairement aux approches du combat principalement fondées sur l'attrition de l'adversaire, la manœuvre repose sur la ruse, qui amène l'adversaire à s'exposer, et la mobilité dans les trois dimensions, afin de surprendre celui-ci en le frappant sur ses points faibles (flancs, arrières, secteurs négligés, etc.), le déstabilisant et le rendant par là même incapable de ressaisir l'initiative.

Recourir à la guerre de manœuvre suppose un renseignement et une compréhension supérieures à ceux de l'adversaire, qui permettent ainsi d'identifier et d'exploiter un avantage comparatif, même temporaire. Face à un dispositif sol-air reposant sur des missiles de courte et moyenne portées, adopter un tel style tactique offrirait la possibilité de faire porter des effets sur l'adversaire et sur ses unités, en dépit de ses capacités défensives, et ainsi d'affaiblir progressivement ces dernières en sachant créer la confusion.

En préparant, puis en conduisant une opération dans des espaces lacunaires, les forces aériennes françaises pourraient compter sur plusieurs avantages comparatifs :

- des capacités de recueil du renseignement électromagnétique affinant la connaissance de l'ordre de bataille électronique adverse, et permettant à la fois de localiser les radars de la défense sol-air et d'identifier les zones dégarnies du théâtre d'opération, au sein desquelles les risques sont réduits ;
- des moyens ISR aéroportés offrant une couverture partielle des agissements de l'ennemi, afin de localiser celles de ses unités qui seraient situées dans l'enveloppe de la menace, mais suffisamment éloignées du centre de la zone couverte pour pouvoir être détruites par des frappes à distance de sécurité ;
- une boucle orientation-action plus courte que celle de l'adversaire, grâce à : 1) une actualisation des données ISR pour suivre les déplacements éventuels des batteries de missiles SAM, et donc l'évolution de la couverture et des opportunités à saisir ; ainsi qu'à 2) une réactivité supérieure permise par l'expérience et la qualité de l'entraînement des pilotes et par un accent mis sur la décentralisation de l'initiative, pour mieux exploiter les opportunités.

En tirant parti de ces avantages, les forces aériennes françaises pourraient par exemple tenter de créer des dilemmes pour les défenseurs, en menaçant plus de cibles qu'ils ne peuvent en protéger. On peut également imaginer qu'elles distraient, par une manœuvre de diversion (pénétrations répétées mais superficielles dans les émissions des radars de défense, envoi de drones utilisés comme appâts ou comme « boules » ISR jetables, etc.), des servants d'une batterie SAM se trouvant, de fait, immobilisée, et pouvant en parallèle être prise pour cible par des moyens de frappe à longue portée tels que des SCALP-EG tirés à distance de sécurité et adoptant le profil de vol rasant – ce qui aurait l'inconvénient d'en raccourcir la portée maximale mais qui accroîtrait les chances d'un

(224) Martin Van Creveld, Steven L. Canby et Kenneth S. Brower, *Air Power and Maneuver Warfare*, Maxwell, Air University Press, 1994, p. 3-8. William Lind identifiait quant à lui trois composantes de la manœuvre : (1) l'importance de la décentralisation des initiatives ; (2) la nécessité d'accepter, de générer et d'utiliser la confusion et le désordre ; et (3) être imprévisible et agir hors des normes. William S. Lind, *Maneuver Warfare Handbook*, Boulder, Westview Press, 1985, p. 5-8.

effet de surprise en jouant sur la faible SER des SCALP-EG et sur les masques terrain. La répétition de telles tactiques, si celles-ci s'avéraient efficaces, permettrait de démanteler progressivement les points forts des défenses sol-air adverses et, ce faisant, d'augmenter la liberté d'action des forces aériennes vis-à-vis de leur adversaire.

En définitive, la France va devoir échelonner ses efforts dans la durée, en fonction de ses possibilités budgétaires, et en gardant à l'esprit qu'il importe d'abord de ne pas perdre les capacités et savoir-faire qui existent. Dans un premier temps, il est ainsi indispensable d'assurer la pérennité de nos moyens dans le domaine électromagnétique, qu'il s'agisse de renseignement (ROEM), de brouillage défensif ou d'entraînement. Il faut également conserver ces outils classiques de supériorité aérienne que sont les missiles transhorizons et les ravitailleurs en vol, qui ont bien d'autres usages, et diffuser les bonnes pratiques en matière de protection des bases et des réseaux C4ISR. Dans le même ordre d'idées, mais à court-moyen terme, selon l'état des finances publiques, il conviendrait d'accroître la portée des munitions AASM, afin de se ménager davantage d'options de DEAD, de conférer au radar RBE2 AESA une fonction avérée de brouillage offensif, tout en homogénéisant progressivement le parc de *Rafale* à ce standard, afin de se doter d'une capacité limitée de pénétration des espaces les mieux défendus enfin de consolider les capacités antimissiles du SAMP/T. L'ensemble de ces moyens a vocation à participer d'une approche française renouvelée de la mission SEAD, qui se contente d'une supériorité locale ou temporaire, pensée en tant que telle à l'intérieur d'une *manœuvre aérienne* plus générale. En parallèle, il faudrait aussi lancer des programmes d'études amont (PEA) analysant la possibilité de développer, à un prix raisonnable, une option antiradar pour certains systèmes en dotation (METEOR, AASM), ainsi que des drones simples à des fins d'observation ou de leurrage. À plus long terme, ces mêmes études pourraient déboucher sur des programmes comme sur des études complémentaires en matière de durcissement des bases, de SEAD cybernétique ou de plateforme dédiée de brouillage offensif, en fonction des évolutions de l'environnement stratégique et des menaces pesant sur notre supériorité aérienne.

RÉORIENTATIONS STRATÉGIQUES

Si elle se concrétise réellement, la réduction de la marge de manœuvre des forces aériennes occidentales devrait avoir des conséquences dépassant le strict cadre militaire, et appeler à un réexamen des postures jusqu'alors adoptées par les puissances occidentales. En l'absence d'une telle introspection interrogeant le présupposé de la suprématie, les forces aériennes occidentales et françaises ne manqueraient pas d'être confrontées à des contradictions et à des dilemmes grandissants. Bien qu'une analyse approfondie de ces évolutions stratégiques dépasse le cadre de cette étude, on peut d'ores et déjà identifier une série de pistes de réflexion contribuant à éclairer les limites de nos postures, étape préalable à leur adaptation à plus long terme.

Avantage unilatéral et marge de manœuvre politique. La supériorité aérienne dont bénéficie encore l'Occident s'est avérée un vecteur d'influence et de contrainte de l'adversaire considérable. La maîtrise des airs a été la condition *sine qua non* des interventions répétées conduites depuis plus de vingt ans, qui pouvaient ainsi combiner fulgurance, effets gradués et maîtrise relative des coûts politiques – rendant possible ce qu'Eliot Cohen appelle un « flirt sans engagement »⁽²²⁵⁾. Or, une érosion progressive de cet avantage implique une réduction de la capacité occidentale à recourir à la force de manière quasi-unilatérale – sans risquer de représailles en retour. À mesure que se renforceront les moyens de frappe adverses et les risques d'attrition causée par l'étoffement des capacités défensives, la marge de manœuvre politique des pays occidentaux devrait se réduire, avec pour effet indirect un affaiblissement de la crédibilité de leurs postures de coercition et de dissuasion conventionnelles.

Guerre limitée et recherche de la sidération. À l'instar des différents concepts qui l'ont précédé – tels la paralysie stratégique, les *Rapid Decisive Operations*, *Shock and Awe*, etc. –, le nouvel avatar de la « révolution dans les affaires militaires » qu'est *Air-Sea Battle* souffre d'un angle mort : la dimension politique du conflit. Ces conceptions opérationnelles ont été forgées afin de capitaliser sur l'avantage tactico-technique dont disposent les forces aériennes occidentales – américaines principalement – et de convertir cet avantage en mode opérationnel dominant, qui entraîne la capitulation rapide de l'adversaire, notamment par des effets de neutralisation systémique. Héritiers de la culture stratégique américaine comme de la guerre froide, ces concepts se sont tout naturellement inscrits dans une logique de guerre totale, et ce, alors même que la période actuelle se caractérise par la prégnance des guerres limitées ; ils reposent donc sur des modes opératoires qui sont, dans la pratique, en décalage avec les principes qui devraient guider la conduite d'une guerre limitée. La décapitation du pouvoir politique et militaire, la neutralisation systémique, l'aveuglement et le démembrement du C4ISR adverse ont ainsi une incontestable utilité militaire.

Néanmoins, en frappant le cœur du pouvoir et de la capacité d'un adversaire à contrôler ses forces, ces modes opératoires risquent d'acculer celui-ci à un raisonnement de survie, le poussant à adopter des modes d'action extrêmes qui rejettent toute limitation inefficace de la guerre pour s'inscrire dans une logique d'escalade et de représailles vis-à-vis des puissances occidentales interventionnistes – en élevant autant que possible les pertes et coûts politiques des opérations. En ce sens, l'établissement préalable de la suprématie aérienne comme la recherche de la sidération de l'adversaire participent d'un exceptionnalisme américain difficilement conciliable, tant avec la réalité des capacités européennes qu'avec la nature des conflits les plus probables. Opérer avec des moyens limités pour défendre des intérêts eux-mêmes limités, mais face à des adversaires grossièrement comparables suppose à l'inverse d'accepter l'égalité de départ et de ne rechercher de supériorité que ponctuelle. Dans le domaine

(225) Eliot A. Cohen, « The Mystique of US Air Power », *Foreign Affairs*, vol. 73, n° 1, janvier-février 1994, p. 109-124.

aérien comme ailleurs, la manœuvre suppose l'égalité : dès lors que l'on sait ne pouvoir compter que temporairement sur la technologie pour obtenir un avantage local, il n'est d'autre choix que de rechercher une supériorité tactique générale par la combinaison raisonnée des moyens, c'est-à-dire par la manœuvre.

Quelle bataille pour la supériorité aérienne face à des adversaires nucléaires ?

Ces limites des concepts opérationnels contemporains, résultant du décalage entre un cadre de guerre limitée et des modes opératoires pouvant être interprétés comme des pratiques de guerre totale, sont particulièrement saillantes dès lors que le modèle de bataille offensive pour la supériorité aérienne doit être appliqué contre un État doté de l'arme nucléaire. La menace de représailles nucléaires ne constitue pas, certes, une parade crédible face à toute forme d'agression : les combats sino-soviétiques de 1969, la guerre de Kargil de 1999 ou les attentats du 11 septembre 2001 montrent bien que des adversaires – étatiques ou non – parviennent à formuler des théories de la victoire adossées à des modes d'action opérant sous le seuil de la dissuasion nucléaire. Néanmoins, les opérations aériennes telles qu'on a pris l'habitude de les pratiquer comme les concepts opérationnels américains, qui tendent toujours à se diffuser au sein de l'OTAN, et reposent sur des frappes de décapitation et la recherche de paralysie, poseraient des problèmes spécifiques dans un environnement nucléaire. En sus du cas déjà évoqué des risques inhérents au fait de frapper le pouvoir politique adverse et de le placer dans une logique d'escalade, les acteurs nucléaires sont exposés au dilemme *use them or lose them* : s'il est engagé dans des opérations de guerre conventionnelle tournant en sa défaveur, un pays possesseur de l'arme nucléaire pourrait décider de tenter de rétablir la dissuasion – et donc de sauver son régime d'une fin probable – en recourant à l'arme nucléaire face aux forces de projection occidentales⁽²²⁶⁾. Le fond du problème est ainsi que l'on ne peut se permettre d'acculer à la défensive un pays doté de l'arme nucléaire⁽²²⁷⁾. Si la neutralisation systématique des défenses aériennes de l'adversaire constitue la première des priorités et le préalable obligé à toute opération aérienne majeure occidentale, comment convaincre l'adversaire que la destruction de son réseau C4ISR ne prépare pas la neutralisation de ses forces nucléaires ? Et comment neutraliser ses capacités de frappe aérienne ou balistique avant qu'elles ne soient employées contre des bases aériennes de théâtre, parce que notre adversaire estime que les escadrons de bombardiers et de missiles sol-sol chargés de la mise en œuvre de sa dissuasion nucléaire sont menacés ? Si les forces aériennes occidentales ne souhaitent ni voir disparaître toute leur liberté d'action face à des pays adverses à partir du moment où ceux-ci accèdent à l'arme nucléaire, ni susciter une escalade nucléaire de leur part, il est impératif de renouveler dès à présent les

(226) David Ochmanek et Lowell H. Schwartz, *The Challenge of Nuclear-Armed Regional Adversaries*, Santa Monica, RAND Corporation, 2008, p. 38-39.

(227) Nous paraphrasons ici sir Michael Quinlan, qui citait un haut fonctionnaire britannique selon lequel « *a nuclear state is a state that no one can afford to make desperate* ». Michael Quinlan, *Thinking About Nuclear Weapons. Principles, Problems, Prospects*, Oxford University Press, 2009, p. 30.

réflexions sur les opérations aériennes de guerre limitée dans un environnement de moins en moins permissif.

La fulgurance ou la durée ? Les difficultés inhérentes à la conduite d'opérations dans un cadre de guerre limitée sont naturellement ressenties par tous les pays occidentaux, y compris par les États-Unis. Elles pourraient néanmoins créer des dilemmes spécifiques aux puissances moyennes, en particulier si celles-ci devaient par exemple mener à bien des opérations dans des environnements non permissifs sans le soutien des forces aériennes américaines. L'absence prévisible de capacités SEAD dédiées (et notamment de brouilleurs offensifs) en Europe implique que la neutralisation des défenses aériennes, surtout si elles sont intégrées, pourrait prendre du temps. La nécessité pour les forces aériennes de « savoir durer » pour affaiblir progressivement les défenses ennemies pourrait s'avérer difficilement compatible, non seulement avec le risque – accru – d'attrition et de pertes civiles, mais encore avec la réduction drastique des parcs entraînée par les coupes budgétaires, et donc le nombre de plus en plus restreint d'appareils disponibles.

Derrière ces interrogations d'ordre opérationnel et stratégique émerge donc un constat essentiel : si la tendance actuelle au rattrapage et à la contestation de la puissance aérienne occidentale se poursuit de manière durable, elle mènera non seulement à une remise en cause directe des concepts guidant l'action des forces aériennes occidentales, mais également à un affaiblissement indirect de leur efficacité stratégique, c'est-à-dire de leur capacité à produire des effets politiques favorables.

CONCLUSION GÉNÉRALE : ÉROSION DE LA PUISSANCE AÉRIENNE ET ÉQUILIBRES INTERNATIONAUX

La guerre est le domaine de l'interaction, de l'incertitude, du hasard et de la complexité. L'enchevêtrement de dimensions – technologique, tactique, logistique, politique, psychologique, éthique, etc. – régies à la fois par des logiques propres et la présence d'un adversaire pensant et agissant font de la prospective stratégique un exercice intrinsèquement difficile, et le domaine aérien ne fait pas exception à cette règle. Sur la base d'une projection à partir des tendances actuelles, cette étude a mis en lumière deux constats distincts, mais convergents, voire qui s'entretiennent l'un l'autre : tout d'abord un rééquilibrage technologique, phénomène commun à toutes les innovations⁽²²⁸⁾, mais en l'espèce considérablement accéléré par l'informatisation des systèmes d'armes ; de façon plus large, une redistribution de la puissance à l'échelle du globe. Selon qu'elles se confirment et qu'elles se cumulent, ou qu'au contraire elles s'épuisent, ces dynamiques de changement auront un impact net sur la supériorité aérienne de l'Occident et, partant, sur l'utilité stratégique de ses forces aériennes.

RATTRAPAGES TECHNOLOGIQUES ET TACTICO-OPÉRATIONNELS

La période ouverte avec la fin de la guerre froide et caractérisée par une écrasante supériorité aérienne occidentale pourrait être en train de se clore. Au minimum, l'avance occidentale, si marquée qu'elle permettait l'adoption et le succès d'un style opérationnel offensif, semble appelée à se réduire sous l'effet d'un rééquilibrage technologique à plusieurs niveaux :

- ralentissement de l'innovation occidentale dans le combat aérien du fait de l'explosion des coûts de R&D et d'acquisition, et effets de rattrapage bénéficiant aux puissances régionales ;

- dissémination de systèmes de défense sol-air dont la portée, la mobilité, la résistance au brouillage et la létalité s'accroissent, et qui sont en outre de plus en plus aisément intégrables au sein de réseaux C4ISR, ce qui risque d'en démultiplier l'efficacité ;

- diffusion de capacités de frappe à longue distance et à guidage terminal, et diversification poussée des moyens de frappe à courte et moyenne portées, faisant peser une menace de plus en plus forte sur les bases régionales et les forces de projection, voire sur le territoire national ;

(228) Emily O. Goldman et Leslie C. Eliason (dir.), *The Diffusion of Military Ideas and Technology*, Stanford University Press, 2003.

– maturation des options visant à exploiter, par la guerre électronique ou cybernétique, la dépendance extrême de l'Occident vis-à-vis des systèmes C4ISR pour affaiblir son efficacité militaire...

De ces évolutions technologiques émerge une tendance à la contestation croissante de la supériorité aérienne occidentale par le truchement d'un renforcement des capacités défensives, qui rendent plus aisées les postures de sanctuarisation. Plus généralement, ce qu'il est convenu d'appeler la RMA constitue d'abord un raffinement de la puissance de feu, et à ce titre semble participer davantage de l'attrition que de la manœuvre, de la défense que de l'attaque ; il ne serait donc pas très étonnant que la diffusion des moyens d'acquisition et de frappe à longue portée qui font le cœur de la RMA ne rende toujours plus périlleuse la projection de force, favorisant ainsi les postures défensives⁽²²⁹⁾. Bien qu'il évolue en grande partie sous l'effet du changement technique et d'autres facteurs objectifs, le rapport entre avantage à l'offensive et avantage à la défensive – ou «équilibre offensive-défensive» – n'est pourtant pas déconnecté des choix humains, et demeure affecté par les ajustements tactiques et les innovations organisationnelles ou conceptuelles⁽²³⁰⁾. Mettre l'accent sur le renforcement de ces derniers éléments pourrait ainsi permettre d'atténuer l'effet des revirements d'ordre technologique et de rétablir un avantage militaire vacillant. Face au mouvement de balancier qui semble s'amorcer et ouvrir une période marquée par la supériorité de la défensive tactico-opérationnelle dans le domaine aérien, l'Occident est donc loin d'être démuné.

Des doutes émergent pourtant quant à la soutenabilité à long terme du degré de supériorité actuel. Certes, le processus de rééquilibrage en faveur de la défensive s'accomplit de manière dialectique, et les investissements occidentaux dans certains domaines-clés tels que la guerre électronique et la furtivité pourraient permettre de maintenir, à l'horizon 2030, un degré de domination réel quoique plus réduit qu'actuellement. Néanmoins, les recherches conduites dans le cadre de cette étude semblent également indiquer que certaines options offensives telles que les missiles à guidage antiradar et, plus tard, la furtivité pourraient atteindre à court ou moyen terme leur point de rendement décroissant. Cette question des rendements décroissants deviendra d'autant plus importante à mesure que la réduction du différentiel de puissance entre l'Occident et ses adversaires potentiels imposera des arbitrages de plus en plus difficiles concernant les domaines sur lesquels faire porter les investissements. Au vrai, il n'y aurait rien d'étonnant à ce que la puissance aérienne connaisse la même évolution que toutes les autres armes ou innovations militaires à travers l'histoire, depuis la suprématie unilatérale permise par la surprise du premier emploi (archers mongols, débuts de l'artillerie) jusqu'à l'égalisation la

(229) Étienne de Durand, «RMA : la résistance au changement est-elle raisonnable ?», in Pascal Vennesson (dir.), *Innovations et conduite du changement dans les armées*, C2SD, 2002.

(230) André Beaufre, *Introduction à la stratégie*, op. cit. ; Keir Lieber, *War and the Engineers. The Primacy of Politics over Technology*, Ithaca, Cornell University Press, 2005 ; Jonathan Shimshoni, «Technology, Military Advantage and World War I : the case for Military Entrepreneurship», *International Security*, vol. 15, n° 3, hiver 1990-1991, p. 187-215.

plus complète, en passant par des phases de supériorité plus ou moins prolongées pour celui des deux camps qui maîtrise le mieux l'arme ou la technologie en question (ordre mince au XVIII^e siècle, porte-avions). De rééquilibrage en contrebalancement, une arme finalement se normalise au point de ne plus pouvoir procurer d'avantage autre que ponctuel, et encore cet avantage doit-il être généralement amené par une manœuvre interarmes, par nature complexe. Repérable à l'intérieur de chaque milieu depuis toujours, ce processus est désormais à l'œuvre au niveau interarmées et entre les milieux : bien qu'à une autre échelle, la puissance aérienne pourrait au final connaître la même normalisation que l'artillerie.

REDISTRIBUTION DES CARTES STRATÉGIQUES

Par-delà les transformations affectant la technologie du combat aérien ou les systèmes de défense antimissile, les développements les plus préoccupants semblent néanmoins se situer à des niveaux plus élevés, sur lesquels les États – et *a fortiori* les armées – ont moins de prise. L'érosion de l'avantage militaire occidental reflète avant tout un processus de redistribution de la puissance à l'échelle globale, qui est en mesure de transformer d'ici une à deux décennies les équilibres existants. Sont ici à l'œuvre des « forces profondes »⁽¹⁾ d'ordre économique (financiers, commerciaux, etc.), mais également démographique ou social, qui sont par définition peu contrôlables par les gouvernements.

Les effets combinés de ces deux processus de rééquilibrage sur la place de l'Occident dans le monde pourraient se révéler déterminants à l'horizon de deux à trois décennies. Historiquement, l'avantage de l'Occident en termes économiques et militaires lui a permis de se hisser au sommet de la hiérarchie de puissance. Accompagnant cette ascension, des réseaux d'alliances et de partenariats stratégiques à travers le monde ont été les vecteurs de l'influence diplomatique de l'Occident, de sa capacité à peser sur l'évolution des équilibres régionaux et ainsi à empêcher l'émergence de rivaux ou de déstabilisateurs.

Or, la place politique prééminente que l'Occident occupe encore repose sur les garanties de sécurité offertes à ses alliés régionaux, et donc sur la crédibilité de ses capacités de dissuasion et d'intervention – principalement américaines. L'ampleur de l'avantage militaire dont bénéficient les forces aériennes occidentales a permis jusqu'à présent de conduire des opérations conventionnelles qui, bien qu'elles s'avèrent parfois stratégiquement inefficaces, sont toujours marquées par un déséquilibre extrême sur les plans tactique et technique. C'est précisément cette marge de supériorité qui modère les coûts politiques d'interventions menées au nom d'intérêts limités, contribuant de ce fait à la crédibilité stratégique de l'Occident comme allié. L'érosion de cette marge et des capacités d'intervention occidentale qui en procèdent pourrait donc porter

(1) Jean-Baptiste Duroselle et Pierre Renouvin, *Introduction à l'histoire des relations internationales*, Paris, Armand Colin, 1964.

en germe une perte de contrôle à long terme des développements politico-stratégiques affectant des régions telles que l'Afrique, le Moyen-Orient ou l'Asie.

L'OCCIDENT ENDIGUÉ ?

Envisager l'évolution de la supériorité militaire occidentale à l'aune du maintien de ses capacités d'intervention aboutit à des scénarios prospectifs très contrastés. La possibilité d'un effondrement total de l'avantage militaire historique de l'Occident s'oppose ainsi à un scénario qui verrait la pérennisation d'un déséquilibre stratégique au profit d'un nombre restreint de pays en mesure d'employer la force sur le territoire d'adversaires incapables de projection.

La perspective extrême d'un Occident durablement «endigué» reste lointaine, hormis dans des circonstances proprement exceptionnelles : désintérêt total et durable des États-Unis pour les affaires du monde, négligence collective face à l'émergence d'une menace militaire majeure, rupture technologique neutralisant de manière décisive les atouts clés des capacités de projection occidentales semblent autant d'évolutions hautement improbables à ce jour.

En sens inverse, la conjonction de plusieurs facteurs pourrait contribuer à pérenniser les avantages dont jouissent les forces armées occidentales, qu'il s'agisse d'investissements massifs dans les activités de R&D, d'acquisition et de préparation des forces ou, plus fondamentalement, d'un dynamisme économique inespéré enrayant le processus de redistribution de la puissance. Un effort militaire majeur ne semble néanmoins pas compatible avec les orientations prises par des sociétés occidentales s'estimant définitivement à l'abri de l'horizon conflictuel – tendance dont on peine à entrevoir l'inflexion, sauf à envisager l'émergence d'une puissance militaire majeure menaçant l'ordre international et suscitant une réaction collective.

Sans atteindre de telles proportions – favorables ou défavorables –, il semble toutefois difficile d'écarter d'un revers de main l'hypothèse médiane voyant la marge de manœuvre militaire de l'Occident progressivement rognée sous l'effet croisé du renforcement des capacités défensives des puissances régionales et des réticences occidentales à l'égard des interventions extérieures. Découragés par des intérêts jugés faibles, ou dissuadés par la perspective d'incertitudes ou de coûts trop élevés, les États occidentaux se feraient plus sélectifs dans leurs interventions, limitant celles-ci à la préservation des intérêts les plus aisément défendables.

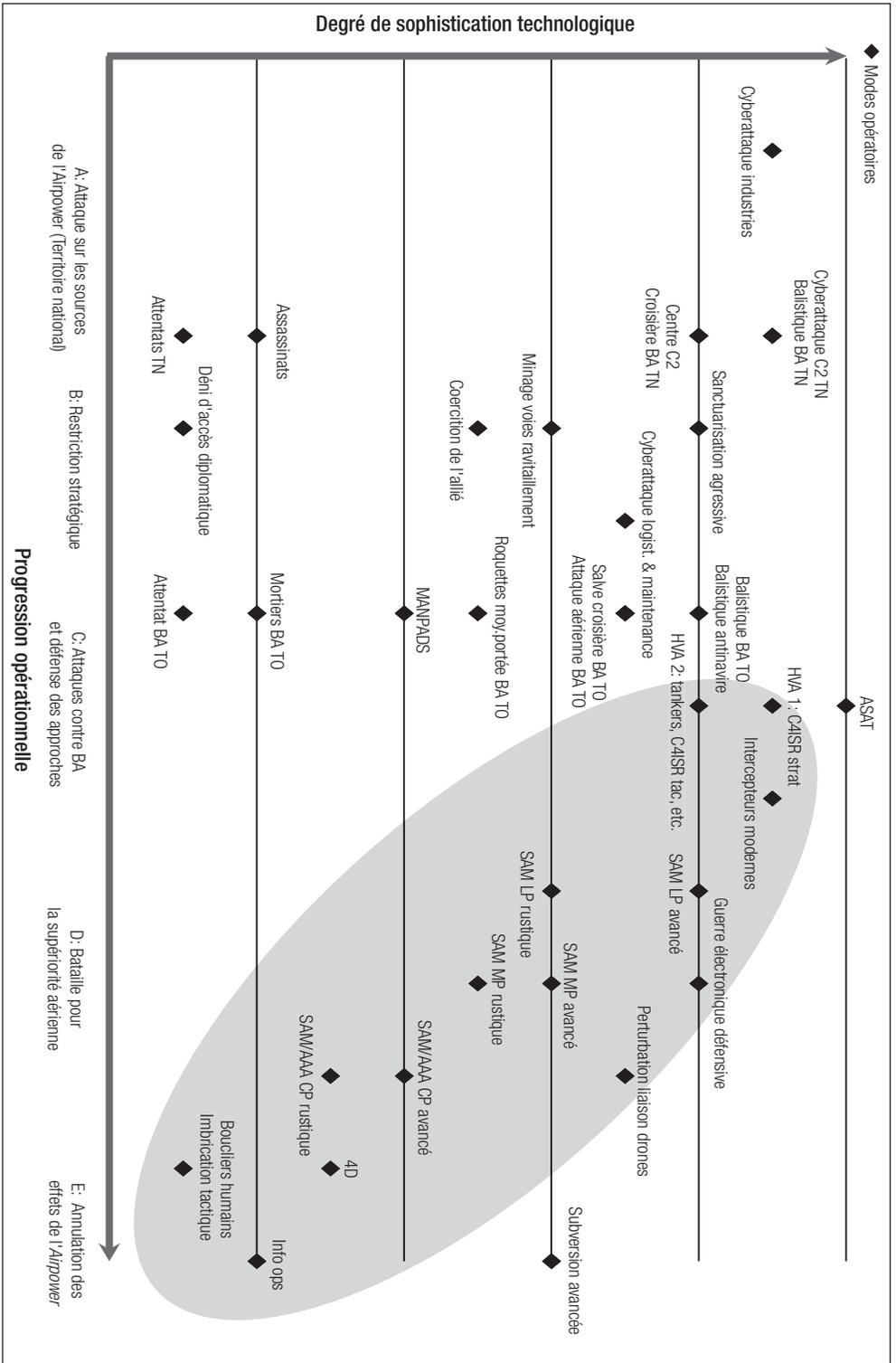
Pour l'Europe, dont les capacités de projection dépendent largement de la supériorité militaire américaine, le glissement des États-Unis vers une forme de désengagement militaire pourrait avoir au minimum deux types d'effets. Soit les volontés et les moyens jusqu'alors épars sont catalysés, au point que les pays européens se dotent d'instruments d'intervention militaire autonomes, soit, ce qui semble plus probable, ces pays composent avec une liberté d'action soumise à des contraintes sans précédent et, éventuellement, abandonnent pour certains d'entre eux leurs dernières velléités de puissances militaires expéditionnaires.

Entre ces deux extrêmes, mais plus proche du scénario pessimiste, se dégage ainsi l'hypothèse qui semble à ce jour la plus crédible pour les décennies à venir : celle d'un environnement marqué par les coûts croissants des interventions, par une tendance concomitante à la régionalisation de la sécurité et à la nécessité pour l'Occident de compenser sur d'autres plans cette perte d'efficacité militaire. Ainsi, plutôt qu'un effondrement brutal ou qu'un renforcement inattendu, c'est bien un effritement graduel de la puissance militaire et de la suprématie aérienne occidentales qui semble se dessiner.

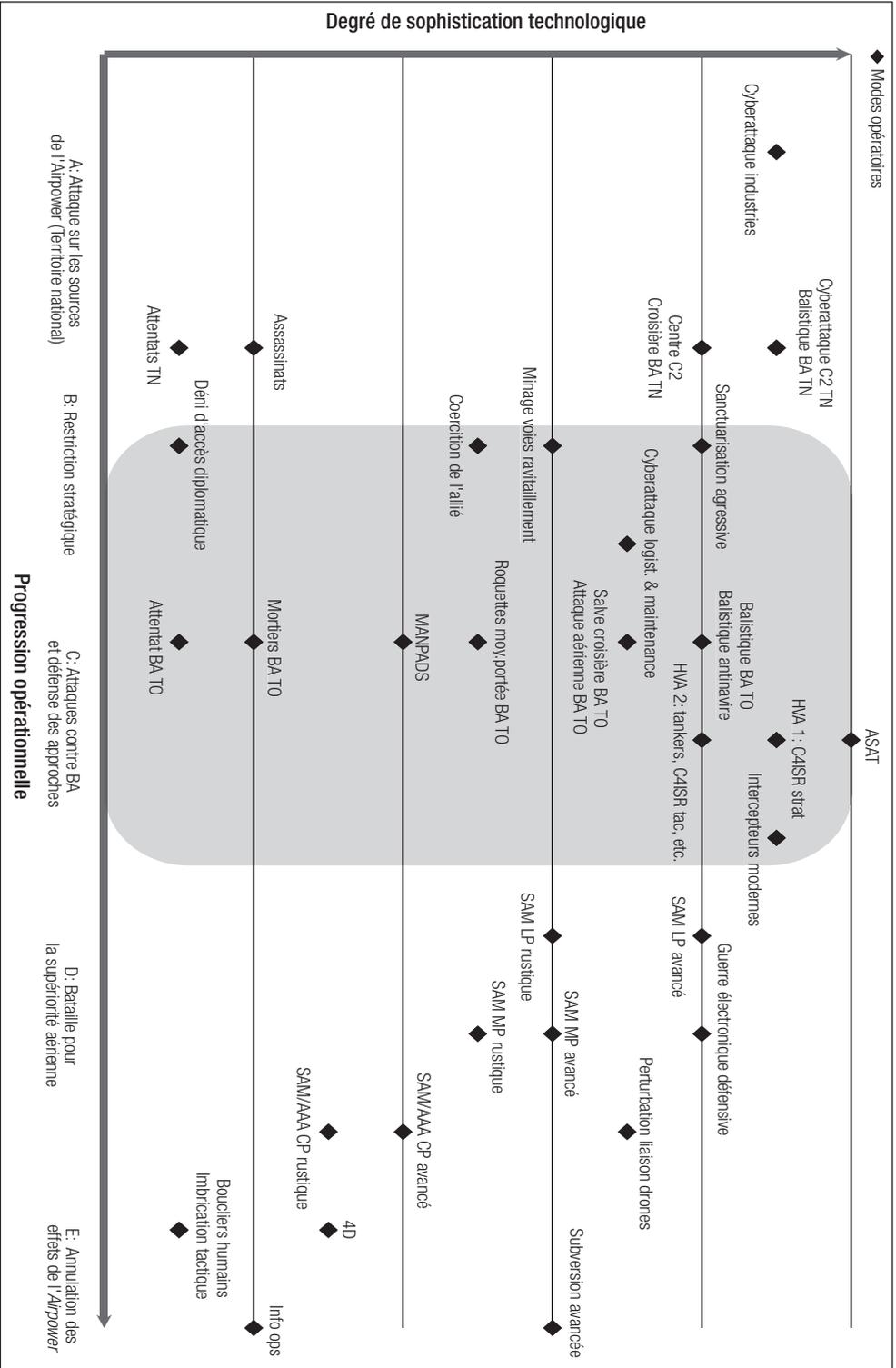
Annexes

ANNEXE N° 1 : ILLUSTRATIONS DES CONTRE-STRATÉGIES

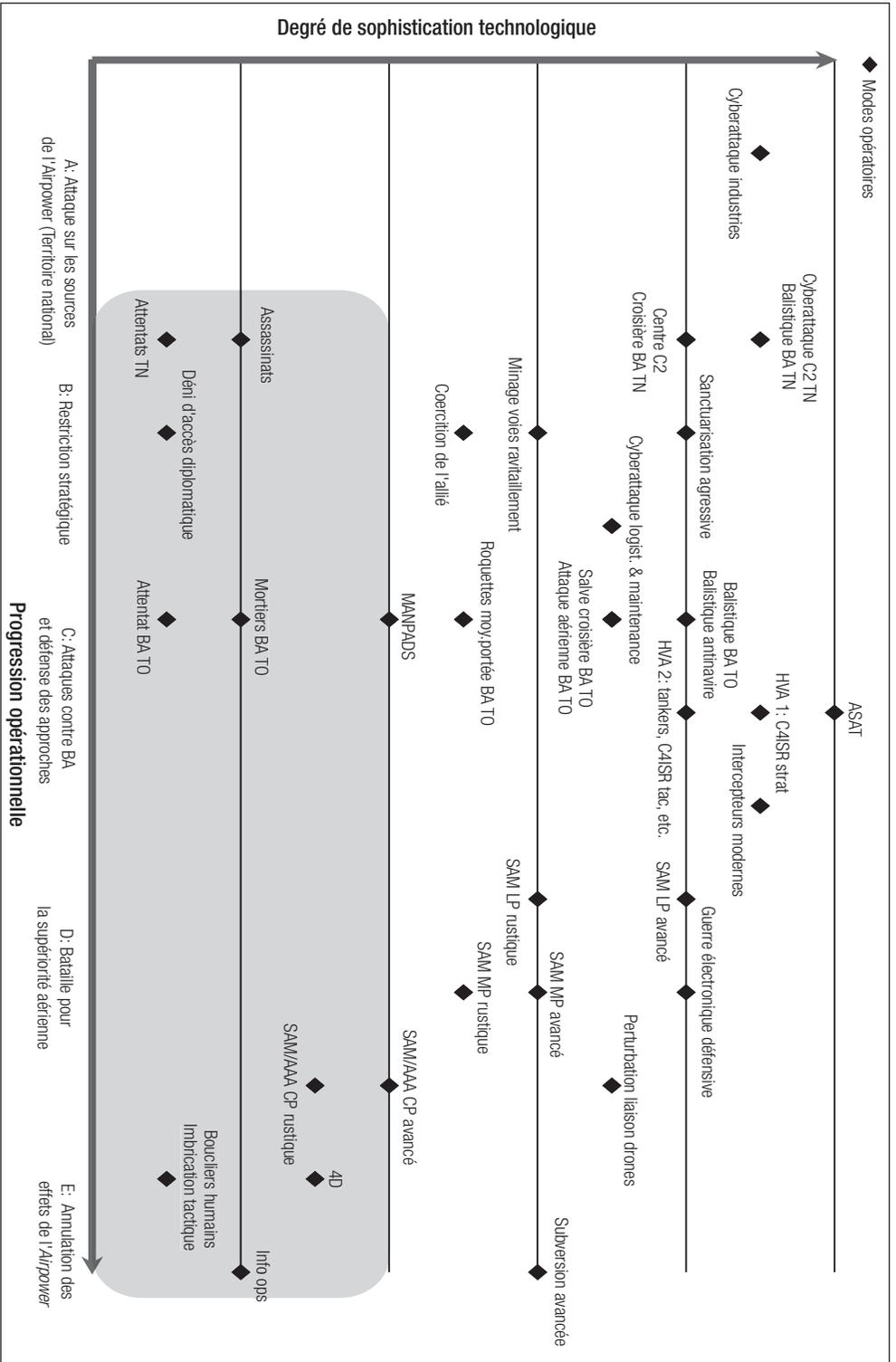
GRAPHIQUE N° 1 : DÉFENSIVE PURE ET STRATÉGIE DU HÉRISSEON



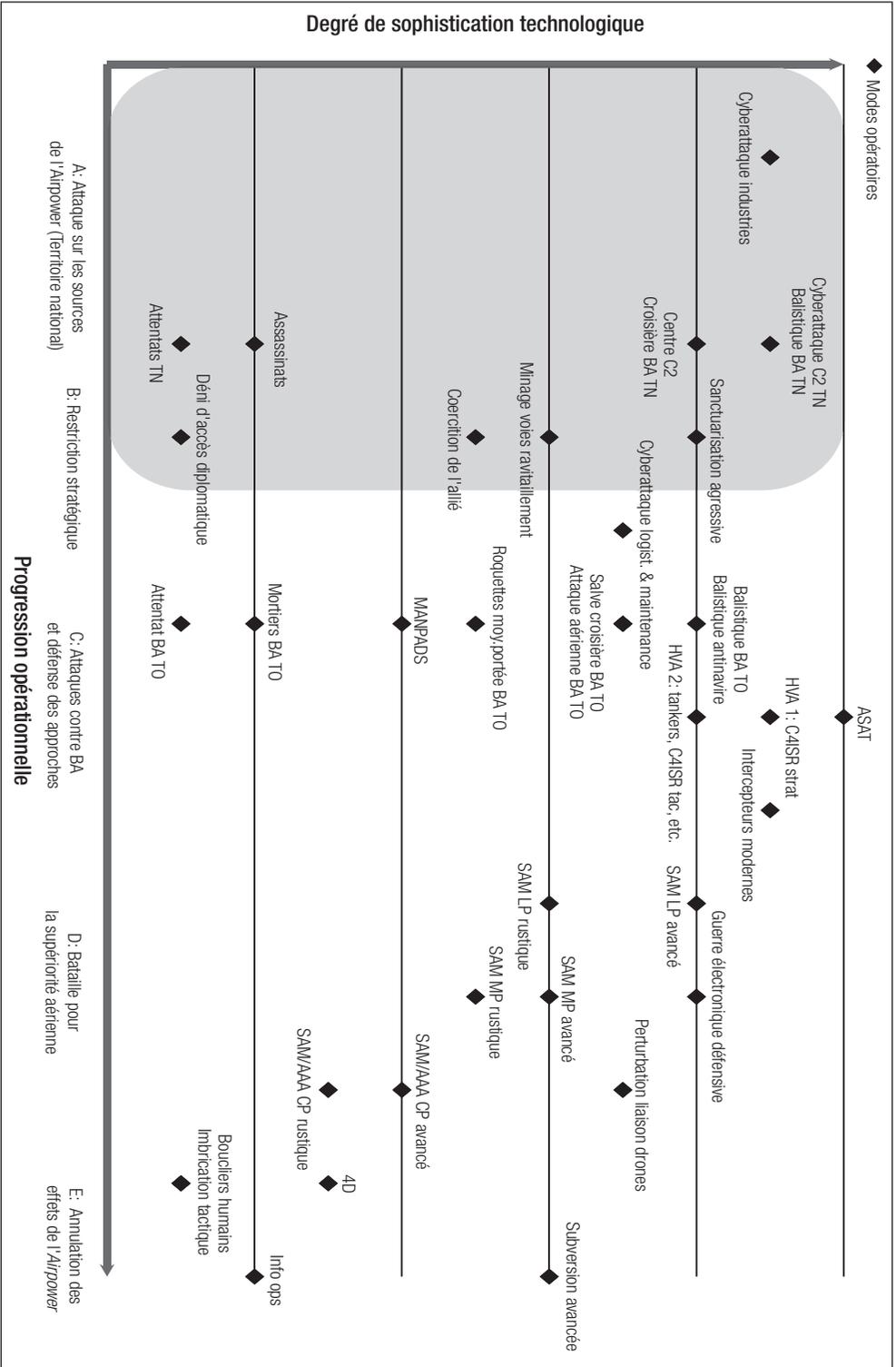
GRAPHIQUE N° 2 : STRATÉGIE DE DÉNI D'ACCÈS



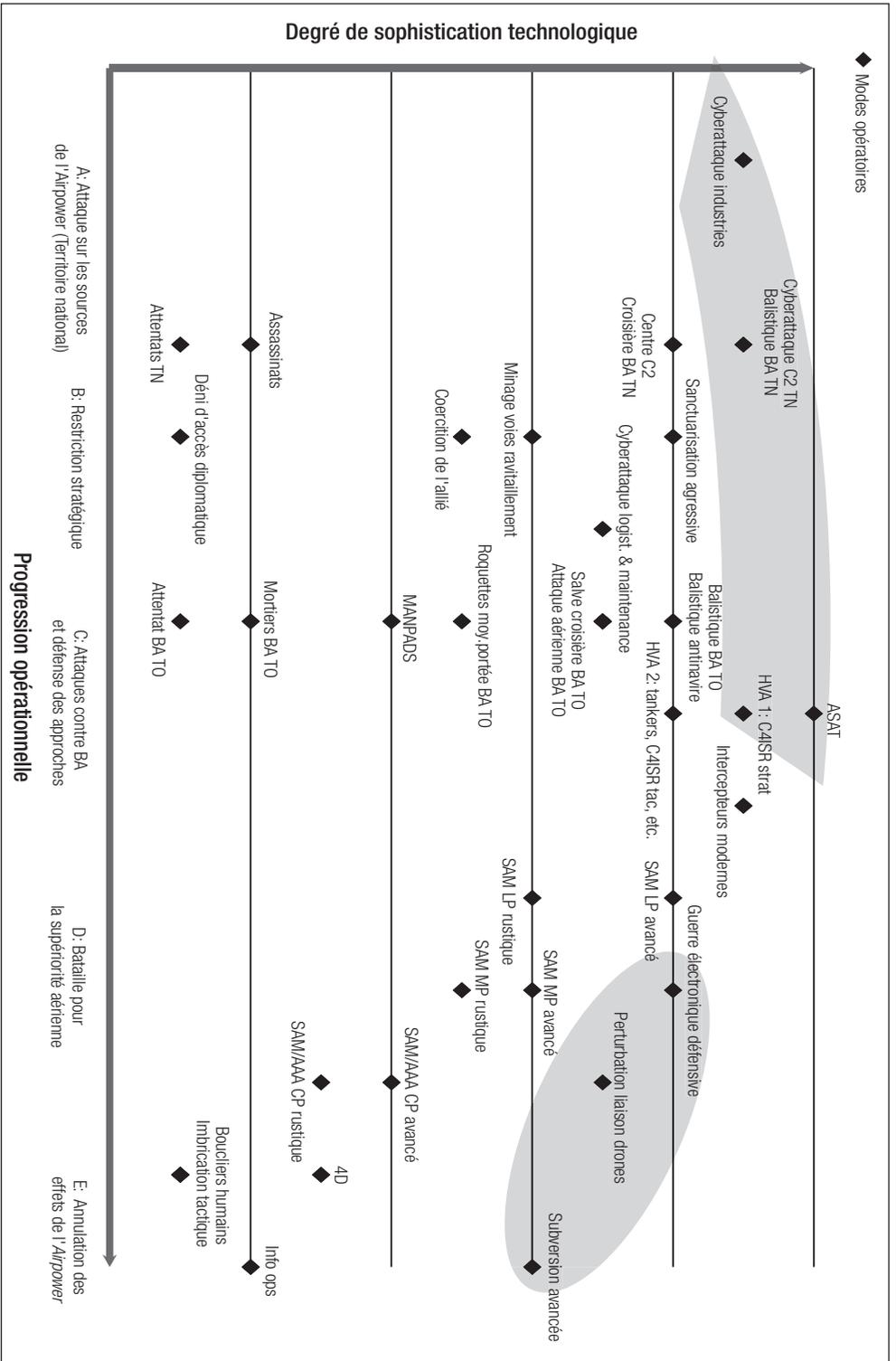
GRAPHIQUE N° 3 : STRATÉGIE DE RÉSISTANCE RUSTIQUE GLOBALE



GRAPHIQUE N° 4 : STRATÉGIE DE DÉSANCTUARISATION

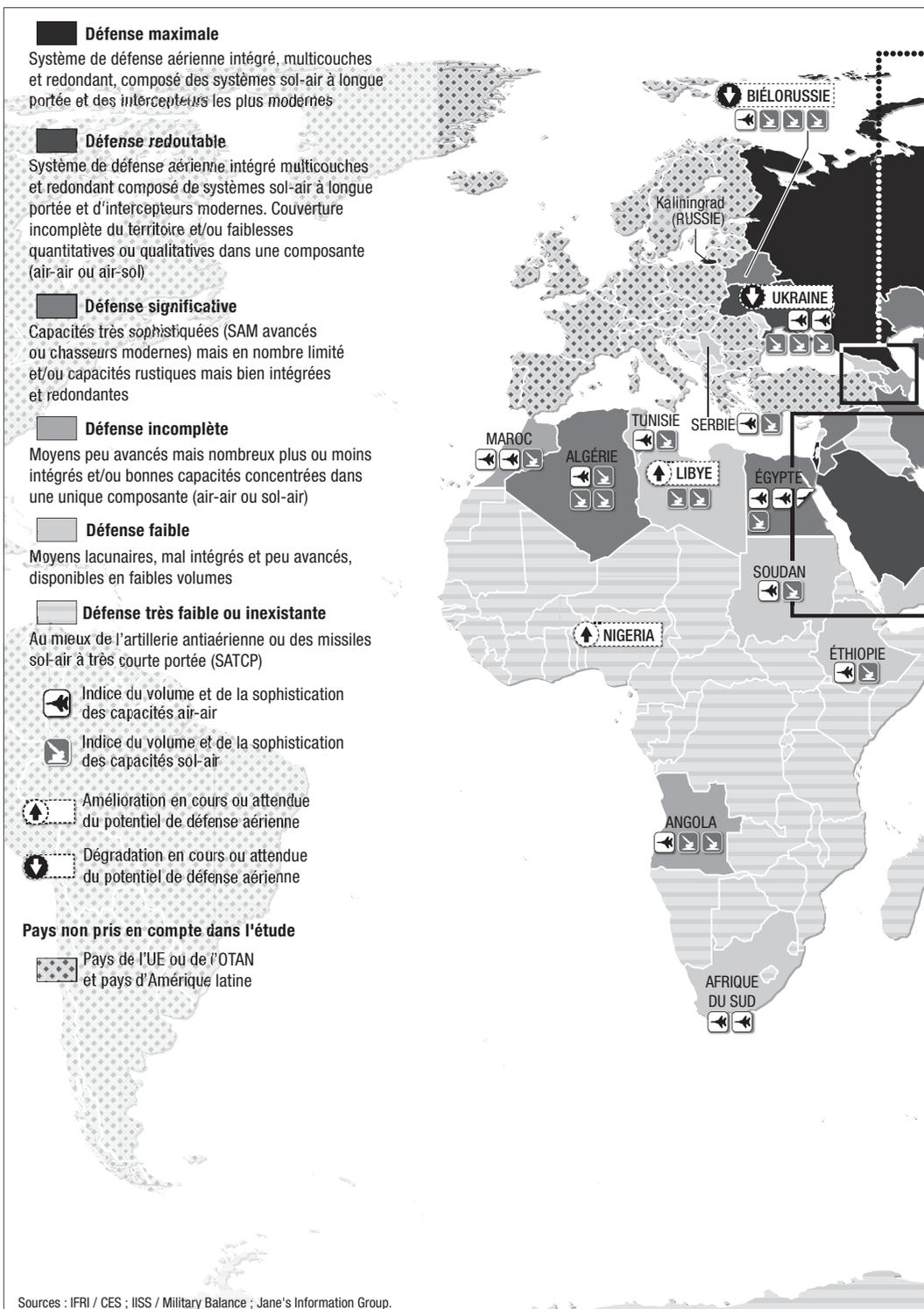


GRAPHIQUE N° 5 : STRATÉGIE DE L'AVEUGLEMENT ET DE LA SIDÉRATION

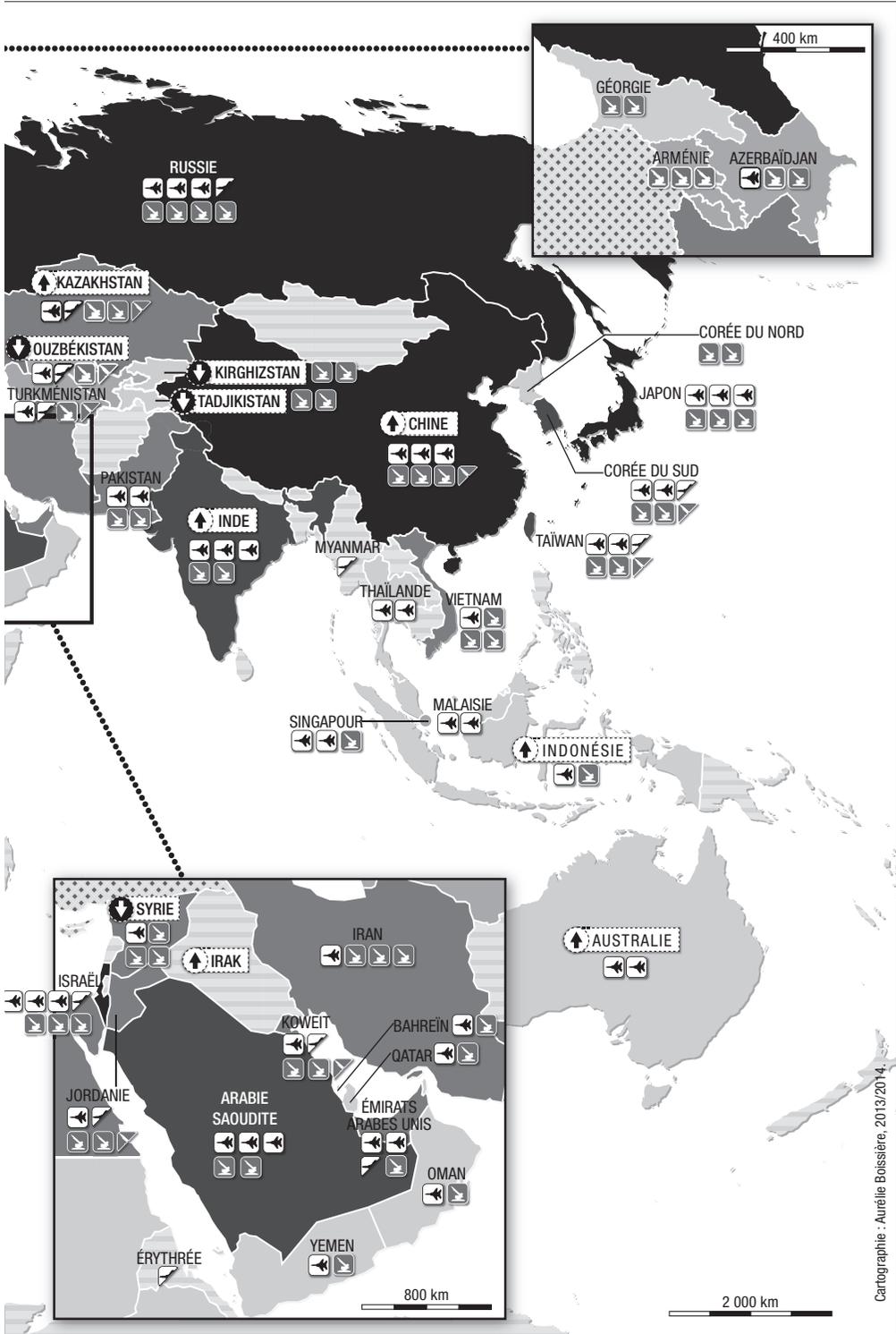


ANNEXE N° 2 : OUTILS DE TRAVAIL

CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE DÉFENSE AÉRIENNE DANS LE MONDE



Sources : IFRI / CES ; IISS / Military Balance ; Jane's Information Group.



Cartographie : Aurélie Boissière, 2013/2014.

TABLEAU DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE MISSILES SOL-AIR ⁽¹⁾

SYSTÈMES SOL-AIR À TRÈS COURTE PORTÉE (SATCP)

Nom original	Code OTAN	Année d'introduction	Portée ^(*) (en km)	Altitude (en km)
9K32 Strela-2	SA-7 Grail	1968	3,7 - 4,2	1,5 - 2,3
9K31 Strela-1	SA-9 Gaskin	1968	4,2 - 8	3,5 - 6
9K34 Strela-3	SA-14 Gremlin	1974	4,1	2,3
Blowpipe	–	1975	3,5	1
9K310 Igla-1	SA-16 Gimlet	1981	5	3,5
9K38 Igla	SA-18 Grouse	1983	5,2	3,5
FIM-92 Stinger	–	1987	4,8 - 8	3
Mistral	–	1988	5	3
9K338 Igla-S	SA-24 Grinch	2004	6	3,5

^(*) Valeur approximative donnée ici à titre indicatif : la portée effective varie selon les missiles, les différents radars, la nature de la cible, les conditions de température et de pression, etc.

SYSTÈMES SOL-AIR À COURTE OU MOYENNE PORTÉE

Nom original	Code OTAN	Mobilité ^(*)	Année d'introduction	Portée (en km)	Altitude (en km)
MIM-23 Hawk	–	F/AT/T	1960	45 - 50	14
S-125 Neva/ Pechora	SA-3 Goa	F/AT	1961	28 - 32	18 - 20
2K11 Krug	SA-4 Ganef	AT	1964	50 - 55	27
MIM-72 Cha- parral	–	AT	1969	9	4
2K12 Kub	SA-6 Gainful	AT	1970	24 - 28	14 - 15
9K33 Osa	SA-8 Gecko	AT	1971	10 - 12	5 - 8
Roland	–	AT/T	1977	8	5,5
Crotale	–	AT	1978	11	6
9K37 Buk-M1	SA-11 Gadget	AT	1979	32 - 42	22 - 25
9K35 Strela-10	SA-13 Gopher	AT	1979	5 - 10	3,5-5
9K331 Tor M/ M1/M2	SA-15 Gauntlet	AT	1986	12 - 15	6
9K40 Buk-M2	SA-17 Grizzli	AT	1998	32 - 42	22 - 25
2K22 Treugolnik/ Tunguska	SA-19 Grison	AT	1982	8 - 10	3,5 - 6
Pantsir S1	SA-22 Greyhound	AT	2003	12 - 20	8 - 15

^(*) Il existe différents degrés dans la mobilité du lanceur qui peut être fixe (F), tracté (T) ou autotracté (AT).

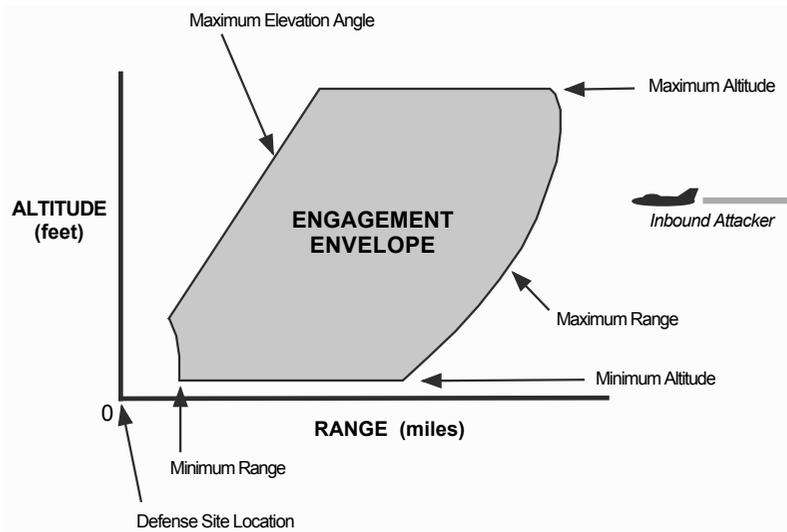
(1) Sources utilisées : *Jane's Information Group* ; *Australian Air Power*.

SYSTÈMES SOL-AIR À LONGUE PORTÉE

Nom original	Code OTAN	Mobilité	Année d'introduction	Portée (en km)	Altitude (en km)
S-25 Berkut	SA-1 Guild	F	1955	30 - 45	18 - 24
S-75 Dvina	SA-2 Guideline	F/T	1957	50 - 55	30
S-200 Angara/ Vega/Duba	SA-5 Gammon	F/T	1967	150 - 250	20 - 40
S-300P/PT/ PS/PM	SA-10 A/B/C/D/E Grumble	AT	1978	75 - 90	25 - 30
S-300V Antey	SA-12 A/B Gladiator/Giant	AT	1978	40 - 100	25 - 30
MIM-104 Patriot PAC-2	–	AT/T	1990	160	24
S-300PMU-1/2 Favorit	SA-20 Gargoyle	AT	1992	150 - 195	27 - 30
HQ-9/FT-2000	–	AT	1997	200	30
Aster-30/SAMP/T	–	AT	2001	120	20
S-400 Triumf	SA-21 Growler	AT	2007	60 - 250	20 - 30
S-300VM Antey-2500	SA-23 Gladiator/ Giant	AT	2011	100 - 200	25 - 30

SCHÉMAS DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS TACTIQUES D'UNE DÉFENSE SOL-AIR ⁽²⁾

Figure 1 : Enveloppe d'engagement d'une défense sol-air (coupe)



(2) Knutsen Dale E., *Strike Warfare in the 21st Century : An Introduction to Non-Nuclear Attack by Air and Sea*, Annapolis, Naval Institute Press, 2012.

Figure 2 : Enveloppes d'un système de défense aérienne intégré multicouche (coupe)

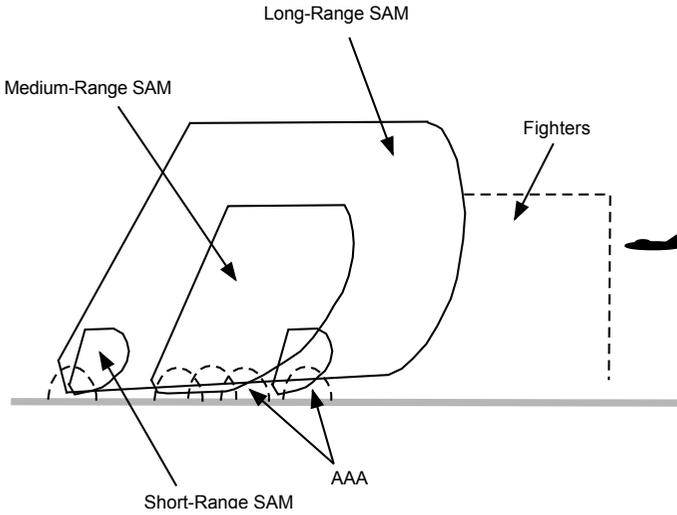
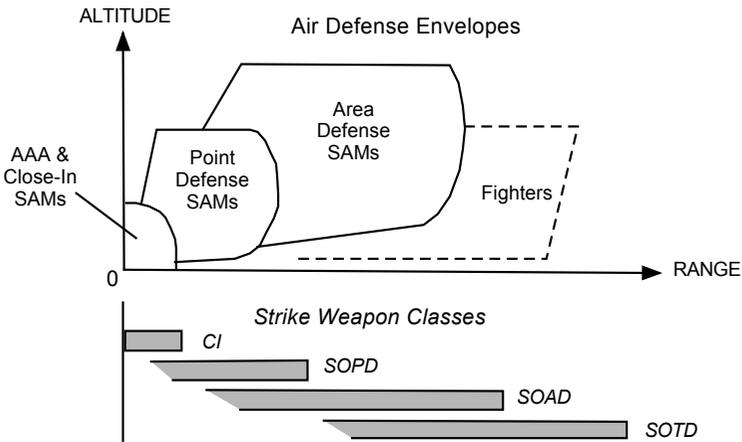


Figure 3 : Enveloppes de défense sol-air et catégories de munitions à distance de sécurité



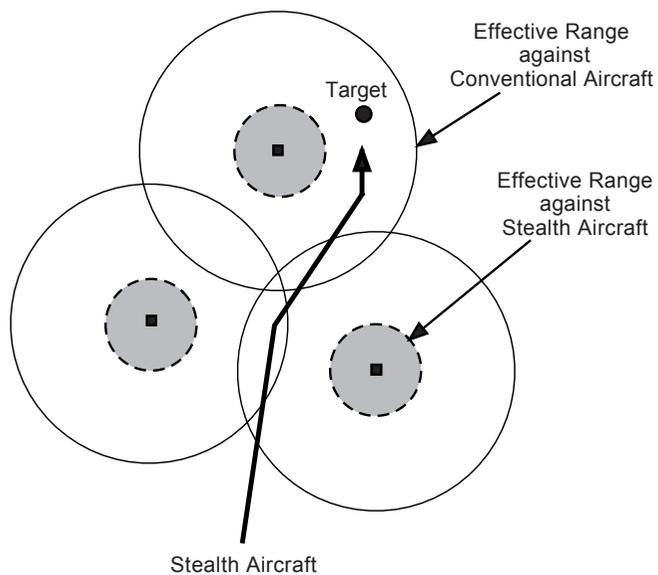
CI : Close Interdiction

SOPD : Standoff Outside Point Defense

SOAD : Standoff Outside Area Defense

SOTD : Standoff Outside Theater Defense

Figure 4 : Portée de détection effective de radars face à des plateformes à signature réduite



LISTE DES SIGLES

4D	Durcissement, Dissimulation, Dispersion, Déception
A&S	Aveuglement et Sidération
A2/AD	Anti-Access/Area Denial
AAA	Anti-Aircraft Artillery
AARGM	Advanced Anti-Radiation Guided Missile
AASM	Armement Air-Sol Modulaire
AESA	Active Electronically Scanned Array
AEW&C	Airborne Early Warning and Control
ALARM	Air Launched Anti-Radiation Missile
AMRAAM	Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile
ANSSI	Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information
ASAT	Anti-Satellite
ASB	Air-Sea Battle
ASBM	Anti-Ship Ballistic missile
ATGM	Anti-Tank Guided Missile
AWACS	Airborne Warning and Control System
BA	Base aérienne
BOSA	Bataille Offensive pour la Supériorité Aérienne
C2	Command and Control (commandement)
C3I	Command, Control, Communications and Intelligence
C4ISTAR	Computerized Command, Control, Communications, Intelligence, Target Acquisition and Reconnaissance
CAEW	Conformal Airborne Early Warning (Système aéroporté de détection lointaine)
CALID	Centre d'Analyse en Lutte Informatique Défensive
CAOC	Combined Air and Space Operations Center
CAS	Close Air Support
CCME	Contre-contre mesure électronique
CDAOA	Commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes
CEMA	Chef d'état-major des armées

CERES	Capacité de Renseignement Électromagnétique Spatiale
CERT	Computer Emergency Response Team
CESA	Centre d'Etudes Stratégiques Aérospatiales
CFSSI	Centre de Formation à la Sécurité des Systèmes d'Information
CHAMP	Counter-Electronics High-Power Microwave Advanced Missile Project
CIA	Central Intelligence Agency
CME	Contre-mesure électronique
COMAO	Composite Air Operation
COMINT	Communications Intelligence
COMSIC	Commandant des Systèmes d'Information et de Communication
COSSI	Centre Opérationnel de la Sécurité des Systèmes d'Information
CP	Courte portée
CRF	Complexe Reconnaissance-Frappe
DAL	Détecteurs d'Alerte Laser
DAMB	Défense Anti-Missile Ballistique
DAT	Défense Aérienne du Territoire
DCA	Défense Contre Avions
DDM	Détecteur de Départ missile
DEAD	Destruction of Enemy Air Defense
DEW	Distant Early Warning
DGA	Direction Générale de l'Armement
DGSE	Direction Générale de la Sécurité Extérieure
DPSD	Direction de la Protection et de la Sécurité de la Défense
DRM	Direction du Renseignement Militaire
EFR	Effet Final Recherché
ENISA	European Network and Information Security Agency
EPR	Ensemble Pile-Refroidisseur
FAS	Forces Aériennes Stratégiques
FLAK	Flugzeugabwehrkanone
FNL	Front National de Libération du Vietnam
FOB	Forward Operating Base

FREMM	Frégate Européenne Multi-Missions
GaAs	Arséniure de Gallium
GaN	Nitride de Gallium
GPS	Global Positioning System
G-RAMM	Guided Rockets, Artillery, Mortars and Missiles
HALE	Haute Altitude, Longue Endurance (drone)
HARM	High-speed Anti-Radiation Missile
HDAF	Home Defence Air Force
HTS	HARM Targeting System
HVA/HVAA	High Value (Airborne) Asset
IBD	Integrated Base Defense
IED	Improvised Explosive Device
IFF	Identification Friend or Foe
IMADS	Integrated Mobile Air Defense System
IRST	Infra Red Search and Track
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
ISTAR	Intelligence Surveillance Target Acquisition and Reconnaissance
JOAC	Joint Operational Access Concept
JSTARS	Joint Surveillance and Target Attack Radar System
LAAR	Light Attack and Armed Reconnaissance (aircraft)
LACM	Land Attack Cruise Missile
LADA	London Air Defence Area
LID	Lutte Informatique Défensive
LIO	Lutte Informatique Offensive
LP	Longue portée
LRSB	Long Range Strike Bomber
MALE	Moyenne Altitude, Longue Endurance (drone)
MANPADS	Man-Portable Air-Defense System (voir SATCP)
MP	Moyenne portée
NGJ	Next Generation Jammer
NIPRNET	Non-Secure Internet Protocol Router Network
OdBE	Ordre de Bataille Électronique

OLID	Officier de Lutte Informatique Défensive
ONU	Organisation des Nations Unies
OSCE	Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe
OTAN	Organisation du Traité de l'Atlantique Nord
PEA	Programme d'Etudes Amont
PGE	Polygone de Guerre Électronique
PGM	Precision-Guided Munition
pK	probability of Kill
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PMI	Petites et Moyennes Industries
QDR	Quadrennial Defense Review
R & D	Recherche et Développement
R2G	Résistance Rustique Globale
RaBO	Rafale-Brouilleur Offensif
RAF	Royal Air Force
RBE2	Radar à Balayage Electronique 2 plans
RDV	République Démocratique du Vietnam
RETEX	RETour d'EXpérience
RMA	Revolution in Military Affairs
ROE	Rosoboronexport
ROEM	Renseignement d'origine électromagnétique (voir SIGINT)
RWR	Radar Warning Receiver
SAM	Surface-to-Air Missile (missile sol-air)
SAMP/T	Sol-air de moyenne portée/terrestre
SAR/GMTI	Synthetic Aperture Radar / Ground Moving Target Indicator
SATCP	Système sol-air à très courte portée (voir MANPADS)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCALP	Système de croisière Conventionnel Autonome à Longue Portée
SDAI	Système de défense aérienne intégrée
SEAD	Suppression of Enemy Air Defense
SER	Surface Equivalente Radar
SGA	Secrétariat Général pour l'Administration

SI	Systèmes d'Information
SIGINT	Signals Intelligence (voir ROEM)
SIPRNET	Secret Internet Protocol Router Network
SIR	Signature Infrarouge
SNA	Sous-marin Nucléaire d'Attaque
SNLE	Sous-marin Nucléaire Lanceur d'Engins
SPECTRA	Système de Protection et d'Évitement des Conduites de Tir du Rafale
SSI	Sécurité des Systèmes d'Information
SSN	Ship Submersible Nuclear (voir SNA)
TN	Territoire national
TO	Théâtre d'opération
UAS	Unmanned Air System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
USAF	US Air Force
USAFHQ	US Air Force Headquarters

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTS OFFICIELS

AGENCE EUROPÉENNE DE DÉFENSE (AED), *Future Trends from the Capability Development Plan*, Bruxelles, 2008.

AGENCE NATIONALE DE LA SÉCURITÉ DES SYSTÈMES INFORMATIQUES, rapport de mission, accessible à l'adresse : <http://www.ssi.gouv.fr/fr/anssi/missions/>

AFGHANISTAN INDEPENDENT HUMAN RIGHTS COMMISSION, *Afghanistan Annual Report on Protection of Civilians in Armed Conflict*, Kaboul, février 2011.

ASSEMBLÉE EUROPÉENNE DE SÉCURITÉ ET DE DÉFENSE, *Les forces aériennes européennes projetables*, Document A/1836, 1^{er} décembre 2003, accessible à l'adresse : http://www.assembly-weu.org/fr/documents/sessions_ordinaires/rpt/2003/1836.php.

AUSTRALIAN DEPARTMENT OF FOREIGN AFFAIRS AND TRADE, *Man-Portable Air-Defense Systems (MANPADS). Countering the Terrorist Threat*, Australian Government, juin 2008.

BOLKCOM Christopher, *Military Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD) : Assessing Future Needs*, Congressional Research Service, RS21141, 5 juin 2006.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Capability Surprise. Volume I. Main Report*, Washington, Report of the Defense Science Board 2008 Summer Study, septembre 2009.

DIRECTION DE L'INFORMATION LÉGALE ET ADMINISTRATIVE, *Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale*, Paris, 29 avril 2013.

CENTRE D'ANALYSE STRATÉGIQUE, « Cybersécurité, l'urgence d'agir », *Note d'analyse 324*, mars 2013, accessible à l'adresse : <http://www.strategie.gouv.fr/content/cybersecurite-urgence-na324>.

COHEN Eliot A et KEANEY Thomas A, *Gulf War Air Power Survey, Summary Report*, Washington, U.S. Government Printing Office, 1993.

COMMISSION DU LIVRE BLANC, *Défense et sécurité nationale. Le Livre blanc*, Paris, Odile Jacob-La Documentation française, 2008.

COMMISSION DE LA DÉFENSE NATIONALE ET DES FORCES ARMÉES, « Audition du général d'armée Jean-Louis Georgelin, chef d'état-major des armées sur les événements et la situation en Afghanistan », compte rendu n° 37, 10 septembre 2008, accessible à l'adresse : <http://www.assemblee-nationale.fr/13/cr-cdef/07-08/c0708037.asp>

COUSTILLIERE Arnaud (contre-amiral), « Ministère de la Défense : opérer en sécurité dans le cyberspace », cybercycle défense et stratégie, mercredi 24 octobre 2012.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Countering Air and Missile Threats*, Washington, Joint Publications 3-01, 23 mars 2012.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Defense Budget Priorities and Choices. Fiscal year 2014*, Washington, avril 2013.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Fiscal Year 2014 Budget Request and FY 2013 Update*, Washington, Office of the undersecretary of Defense (Comptroller)/Chief Financial officer, avril 2013.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Joint Operational Access Concept*, Washington, Department of Defense, 17 janvier 2012.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2012*, Washington, mai 2012.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Quadriennial Defense Review Report*, Washington, septembre 2001.

DEPARTMENT OF DEFENSE, *Sustaining US Global Leadership : Priorities for the 21st Century Defense*, Washington, janvier 2012.

DEPARTMENT OF FOREIGN AFFAIRS AND TRADE (Australian Government), *Man-Portable Air Defence Systems (MANPADS) Countering the Terrorist Threat*, Canberra, juin 2008.

ÉTAT-MAJOR DES ARMÉES, *Contre-insurrection*, Doctrine Interarmées 3.4.4.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, *Joint Strike Fighter. Current Outlook is Improved, but Long-Term Affordability is a Major Concern*, Washington, mars 2013.

GERTLER Jeremiah, *F-35 Joint Strike Fighter (JSF) Program*, Congressional Research Service, RS30563, 16 février 2012.

KNUTSON B.B., *Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD)*, Department of the Navy, 18 mai 2001.

MISSILE AND SPACE INTELLIGENCE CENTER, *MANPADS Components*, Defense Intelligence Agency.

MURRAY Williamson (ed.), *Gulf War Air Power Survey : Volume 2, Part. I : Operations*, Washington, DC, Government Printing Office, 1993.

SÉNAT, *Avis n° 112*, présenté au nom de la Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées (1) sur le projet de la loi de finances pour 2011, adopté par l'Assemblée nationale, tome V, « Défense – équipement des forces », par MM. Xavier Pintat et Daniel Reiner, session ordinaire 2010-2011, enregistré à la présidence du Sénat, 18 novembre 2010.

SÉNAT, *Rapport d'information n° 681* fait au nom de la Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées sur la cyberdéfense, par M. Jean-Marie Bockel, session extraordinaire 2011-2012, 18 juillet 2012.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, *Tactical Aircraft. DOD's Ability to Meet Future Requirements is Uncertain, with Key Analyses Needed to Inform Upcoming Investments Decisions*, Washington, juillet 2010.

HOUSE OF REPRESENTATIVES, « Operations in Kosovo : Problems Encountered, Lessons Learned and Reconstitution », Hearing before the Military Readiness Subcommittee of the Committee on Armed Services, 26 octobre 1999, accessible à l'adresse : http://www.fas.org/man/congress/1999/has299030_0.htm.

VIOLLET Jean-Claude, *Projet de loi de finances pour 2010 : Défense – préparation et emploi des forces – Air*, Assemblée nationale, 14 octobre 2009, accessible à l'adresse : <http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/budget/plf2010/a1972-tVI.pdf>.

OUVRAGES, CHAPITRES D'OUVRAGES ET MONOGRAPHIES

- ARKIN William, «Operation Allied Force : “The Most Precise Application of Air Power in History”», in Andrew J. Bacevich et Elliot A. Cohen (dir.), *War over Kosovo. Politics and Strategy in a Global Age*, New York, Columbia University Press, 2001.
- BERTEAU David et GREEN Michael (dir.), *US Force Posture Strategy in The Asia Pacific Region, An Independent Assessment*, Washington, Centre For Strategic and International Studies, 2012.
- BACON Donald J., *Second World War Deception. Lessons Learned for Today's Joint Planner*, USAF, Air Command and Staff College Wright Flyer Paper n° 5, Maxwell, décembre 1998.
- BACEVICH Andrew J., COHEN Eliot A., (dir.), *War Over Kosovo. Politics and Strategy in a Global Age*, New York, Columbia University Press, 2001.
- BAILEY Jonathan B.-A., «Pouvons-nous faire face à des guerres longues ?», in MALIS Christian, STRACHAN Hew, et DANET Didier (dir.), *La Guerre Irrégulière*, Paris, Economica, 2011.
- BEAUFRE André (général), *Introduction à la stratégie*, Paris, Economica, 1985 (1963).
- BEYERCHEN Alan, «From Radio to Radar. Interwar Military Adaptation to Technological Change in Germany, the United Kingdom, and the United States», in MURRAY Williamson et MILLET Allan R. (dir.), *Military Innovation in the Interwar Period*, Cambridge University Press, 1996.
- BIDDLE Stephen D., *Afghanistan and The Future of Warfare*, Princeton University Press, 2006.
- BIDDLE Stephen D. et Jeffrey A. FRIEDMAN, *The 2006 Lebanon Campaign and the Future of Warfare. Implications for Army and Defense Policy*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2008.
- BIDDLE Tami, «Learning in Real Time : The Development and Implementation of Air Power in the First World War», in COX Sebastian et GRAY Peter (dir.), *Air Power History. Turning Points from Kitty Hawk to Kosovo*, Londres, Franks Cass, 2002.
- BIN Alberto et HILL Richard, JONES Archer, *Desert Storm. A Forgotten War*, Westport, Praeger, 1998.
- BOLTON Edward, *Cybersecurity : Emerging Threats*, CyberFutures Conference, National Harbor, 1^{er} avril 2011.
- BOWIE Christopher J., *The Anti-Access Threat and Theater Air Bases*, Washington, Center for Strategic and Budgetary Assessment, 2002.
- BROWN Herbert T., *Current Air Base Ground Defense Doctrine : Are We Postured to Meet the Expectations of the AEF?*, Maxwell, Air Command and Staff College, Air University, avril 2001.
- BRUNGESS James R., *Setting the Context. Suppression of Enemy Air Defenses and Joint War Fighting in an Uncertain World*, Air Power Research Institute, Maxwell, Air University Press, juin 1994.
- BRUSTLEIN Corentin, «États-Unis/Défense : Cure d'austérité», in De MONTBRIAL Thierry et MOREAU-DEFARGES (dir.), *RAMSES 2013*, Paris, Dunod, 2012.
- BRUSTLEIN Corentin, *Innovations offensives et puissance militaire au vingtième siècle*, thèse de doctorat en science politique, université Jean-Moulin Lyon 3, 2012.

BRUSTLEIN Corentin, «Le missile de croisière naval, un moyen pour quelle stratégie», in Centre d'études supérieures de la marine, *Le missile de croisière naval : quelles ruptures ?*, colloque organisé le 10 mars 2011.

BUILDER Carl H., *The Masks of War : American Military Styles in Strategy and Analysis*, Santa Monica, Rand Corporation, 1989.

BURBACH David, RITTENHOUSE GREEN Brendan et FREEDMAN Benjamin H., «The Technology of the Revolution in Military Affairs», in SAPOLSKY Harvey M., FREEDMAN Benjamin H., GREEN Brendan R. (dir.), *US Military Innovation since the Cold War, Creation without Destruction*, Londres, Routledge, 2009.

BYMAN Daniel et WAXMAN Matthew, *The Dynamics of Coercion. American Foreign Policy and The Limits of Military Might*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002.

CARUS W. Seth, *Cruise Missile Proliferation in the 1990s*, Westport, Praeger, 1992.

CHOW Brian G., JONES Gregory S., LACHOW Irving, STILLION John, WILKENING Dean, YEE Howell, *Air force Operations in a Chemical and Biological Environment*, Santa Monica, RAND Corporation, 1998.

CLARKE Richard A. et KNAKE Robert A., *Cyber War. The Next Threat To National Security And What To Do About It*. New York, Ecco, 2010.

CLAUSEWITZ Carl (von), *De la guerre*, Paris, Éditions de Minuit, 1955.

CLIFF Roger, *Anti-Access Measures in Chinese Defense Strategy*, Project Air Force, Santa Monica, RAND Corporation, janvier 2011.

CLIFF Roger, BURLES Mark, CHASE Michael S., EATON Derek, POLLPETER Kevin L., *Entering the Dragon's Lair, Chinese Anti-access Strategies and Their Implications for the United States*, Project Air Force, Santa Monica, RAND Corporation, 2007.

CLODFELTER Mark, *The Limits of Air Power. The American bombing of North Vietnam*, New York, The Free Press, 1989.

CLOUET Louis-Marie, «La prolifération des technologies aérospatiales russes et chinoises : enjeux militaires, technologiques et industriels», in BOUTHERIN Grégory et GRAND Camille (dir.), *Envol vers 2025. Réflexions prospectives sur la puissance aérospatiale*, Paris, La Documentation française, 2011.

COOPER Cortez A., *Joint Anti-Access Operations China's "System-of-Systems" Approach*, Project Air Force, Santa Monica, RAND Corporation, janvier 2011.

CORDESMAN Anthony H., *Iran and the Threat to «Close» the Gulf*, Washington, Center for Strategic and International Studies, 3 janvier 2012.

CORDESMAN Anthony H., *The Iraq War. Strategy, Tactics and Military Lessons*, Westport, Praeger, 2003.

CORDESMAN Anthony H., *The Lessons and Non-Lessons of the Air and Missile Campaign in Kosovo*, Westport, Greenwood Press, 2001.

CORDESMAN Anthony H., *The Lessons of Afghanistan. War Fighting, Intelligence, and Force Transformation*, Washington, CSIS Press, 2002.

CORDESMAN Anthony H. et WAGNER Abraham R., *The Lessons of Modern War. The Arab-Israeli Conflicts, 1973-1989*, vol. 1, Boulder, Westview Press, 1990.

- CORDESMAN Anthony H. et TOUKAN Abdullah, *GCC – Iran : Operational Analysis of Air, SAM and TBM Forces*, Washington, Center for Strategic and International Studies, 20 août 2009.
- COTE Owen R., Jr., *Submarines in the Air-Sea Battle*, Boston, Massachusetts Institute of Technology Security Studies Program, 2010.
- COTE Owen R., Jr., *Assuring Access and Projecting Power. The Navy in the New Security Environment*, Boston, MIT Security Studies Conference Series, avril 2002.
- COUTEAU-BEGARIE Hervé, *Traité de stratégie*, Paris, Economica, 1999.
- COUTEAU-BEGARIE Hervé, «Manœuvre», in De MONTBRIAL Thierry et KLEIN Jean (dir.), *Dictionnaire de stratégie*, Paris, PUF, 2001.
- COX Sebastian et GRAY Peter (dir.), *Air Power History. Turning Points from Kitty Hawk to Kosovo*, Londres, Frank Cass, 2002.
- CRABTREE James D., *Guerrilla Air Defense : Antiaircraft Weapons and Techniques for Guerrilla Forces*, Paladin Press, 1996.
- CRABTREE James D., *On Air Defense*, Westport, Praeger, 1994.
- CREVELD Martin Van, CANBY Steven L., BROWER Kenneth S., *Air Power and Maneuver Warfare*, Maxwell, Air University Press, 1994.
- CREVELD Martin Van, *Command in War*, Cambridge, Harvard University Press, 1985.
- CREVELD Martin Van, *Technology and War. From 2000 BC to the Present*, New York, The Free Press, 1989.
- DAUBER Cori E., *Youtube War : Fighting in a World of Cameras in Every Cell Phone and Photoshop on Every Computer*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2009.
- DAVIS Paul K., MCEVER Jimmie, WILSON Barry, *Measuring Interdiction Capabilities in the Presence of Anti-Access Strategies. Exploratory Analysis to Inform Adaptive Strategy for the Persian Gulf*, Project Air Force, Santa Monica, Rand Corporation, 2002.
- DENMARK Abraham M, MULVENON James, HOFFMAN Frank, MARTIN Kelly, FRITZ Olivier, STERNER Eric, RATTRAY Greg, EVANS Chris, HEALEY Jason, KAPLAN Robert D., *Contested Commons : the Future of American Air Power in a Multipolar World*, Washington, Center for a New American Security, janvier 2010.
- DESPORTES Vincent, *La guerre probable*, Paris, Economica, 2008.
- DITLEVSON Jeffery T., *Air Base Defense : Different Times Call for Different Methods*, Monterey, Naval Post Graduate School, décembre 2006.
- DUIVEN Rick et ABBOTT Dan-San, *Schlachtflieger! Germany and the Origins of Air Ground Support, 1916-1918*, Atglen, Schiffer, 2006.
- DUNNIGAN James F., *How to Make War. A Comprehensive Guide to Modern Warfare in the 21st Century*, New York, Quill, 2003.
- DUPUY Trevor N., *The Evolution of Weapons and Warfare*, New York, Da Capo, 1991.
- de DURAND Etienne, «Sécurité et défense. Vers la fin des interventions ?», in de MONTBRIAL Thierry et MOREAU DESFARGES, *RAMSES 2012*, Paris, Dunod, 2011.
- de DURAND Étienne, «RMA : la résistance au changement est-elle raisonnable ?», in VENNESSON Pascal (dir.), *Innovations et conduite du changement dans les armées*, C2SD, 2002.

- DUROSELLE Jean-Baptiste et RENOUVIN Pierre, *Introduction à l'histoire des relations internationales*, Paris, Armand Colin, 1964.
- EAGLEN Mackenzie et SZASZADI Lajos S., *What Russia's Stealth Fighter Developments Mean for America*, The Heritage Foundation, Backgrounder n° 2494, décembre 2010.
- EHRHARD Thomas P., WORK Robert O., *Range, Persistence, Stealth, and Networking : The Case for a Carrier-Based Unmanned Combat Air System*, Washington, Center for Strategic and Budgetary, 2008.
- EPSTEIN Joshua M., *Measuring Military Power. The Soviet Air Threat to Europe*, Princeton, Princeton University Press, 1984.
- ERLICH Reuven, *Hezbollah's Use of Lebanese Civilians as Human Shields : The Extensive Military Infrastructure Positioned and Hidden In Populated Areas. From Within The Lebanese Towns and Villages Deliberate Rocket Attacks Were Directed Against Civilians Targets In Israel*, Tel-Aviv, Intelligence and Terrorism Information Center, novembre 2006.
- FALLIERE Nicolas, O'MURCHU Liam et CHIEN Eric, *W32. Stuxnet Dossier. Version 1.4*, Symantec Corporation, 2011.
- FERRIS John, « Achieving Air Ascendancy : Challenge and Response in British Strategic Air Defence, 1915-1940 », in Sebastian Cox et Peter Gray (dir.), *Air Power History. Turning Points from Kitty Hawk to Kosovo*, Londres, Frank Cass, 2002.
- GARRITY Patrick J., *Why the Gulf War Still Matters. Foreign Perspectives on the War and the Future of International Security*, Los Alamos National Laboratory, Center for National Security Studies, juillet 1993.
- GEIS, John P., KINNAN Christopher J., HAILES Ted, FOSTER Harry F., BLANKS David, *Blue Horizons II. Future Capabilities and Technologies for the Air Force in 2030. Executive Summary*, Center for Strategy and Technology, Occasional Paper, n° 65, juillet 2009.
- GILLESPIE Paul G., *Weapons of Choice. The Development of Precision Guided Munitions*, Tuscaloosa, The University of Alabama Press, 2006.
- GOLDMAN Emily O. et ELIASON Leslie C. (dir.) *The Diffusion of Military Ideas and Technology*, Stanford, Stanford University Press, 2003.
- GONS Eric Stephen, *Access Challenges and Implications for Airpower in the Western Pacific*, Santa Monica, Pardee RAND Graduate School, 2011.
- GORDON Michael R., TRAINOR Bernard E., *Cobra II. The Inside Story of The Invasion and Occupation of Irak.*, New York, Pantheon Book, 2006.
- GORDON Michael R., TRAINOR Bernard E., *The Generals' War, the Inside Story of the Conflict in the Gulf*, New York, Little, Brown & Co., 1995.
- GORMLEY Dennis M., *Missile Contagion. Cruise Missile Proliferation and the Threat to International Security*, Westport, Praeger Security International, 2009.
- GOYA Michel, *Iraq, les armées du chaos*, Paris, Economica, 2008.
- GOYA Michel, *La chair et l'acier, l'invention de la guerre moderne 1914-1918*, Paris, Tallandier, 2004.
- GRANT Rebecca, *The Radar Game. Understanding Stealth and Aircraft Survivability*, Michell Institute for Airpower Studies, 2010.

- GRUSELLE Bruno, *Missiles de croisière et stratégies d'anti-accès*, Paris, Fondation pour la recherche stratégique, 2006.
- GUNZINGER Mark, *Outside-In. Operating from Range to Defeat Iran's Anti-Access and Area-Denial Threats*, Washington, DC, Center for Strategic and Budgetary Assessment, 2011.
- HAGEN Jeff, *Potential Effects of Chinese Aerospace Capabilities on US Air Force Operations*, Project Air Force, Santa Monica, RAND Corporation, janvier 2010.
- HALLION Richard P., *Storm over Iraq, Air Power and the Gulf War*, New York, Smithsonian Books, 1997.
- HARTNETT Daniel M., « Looking Good on Paper : PLA Participation in the Peace Mission 2010 Multilateral Military Exercise », in KAMPHAUSEN Roy, LAI David, TANNER Travis (dir.), *Learning by Doing. The PLA Trains at Home and Abroad*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2012.
- HECKER Marc et RID Thomas, « Stratégies et politiques de communication des belligérants non-étatiques », *Les thématiques du C2SD*, n° 21, 2010.
- HENDRIX Henry J., *At What Cost A Carrier?* Washington, Center For A New American Security, 2013.
- HENROTIN Joseph, *La stratégie génétique dans la stratégie des moyens*, coll. « Les stratégies », ISC, Paris, 2004.
- HENROTIN Joseph, « Quelques remarques sur les contre-stratégies aériennes envisageables à l'horizon 2030 », in BOUTHERIN Grégory et GRAND Camille (dir.), *Envol vers 2025. Réflexions prospectives sur la puissance aérospatiale*, CESA-La Documentation française, 2011.
- HEWITT William A., *Planting the Seeds of SEAD : the Wild Weasel in Vietnam*, School of advanced airpower studies, Maxwell Air Force Base, Alabama, Air University, mai 1992.
- HIGHAM Robin, « Air Power in World War I, 1914-1918 », in STEPHENS Alan (dir.), *The War in the Air, 1914-1918*, Fairbairn, Royal Australian Air Force Aerospace Center, 1994.
- HUISS Randy, *Proliferation of Precision Strike : Issues For Congress*, Congressional Research Service, 2012.
- JASPER Scott (dir.), *Securing Freedom in the Global Commons*, Stanford, Stanford University Press, 2010.
- KAGAN Frederick W., *Finding the Target. The Transformation of American Military Policy*, New York, Encounter Books, 2006.
- KEANEY Thomas A. et COHEN Eliot A., *Revolution in Warfare? Air Power in the Persian Gulf*, Annapolis, Naval Institute Press, 1995.
- KNUTSEN Dale E., *Strike warfare in the 21st century. An introduction to non-nuclear attack by air and sea*, Annapolis, Naval Institute Press, 2012.
- KRANOW Stanley, *Vietnam : A History*, New York, Penguin Books, 1997.
- KREPINEVICH Andrew F., WATTS Barry et WORK Robert, *Meeting the Anti-Access and Area-Denial Challenge*, Washington, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2003.

- KREPINEVICH Andrew F., *Why Air-Sea Battle?*, Washington, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2010.
- LAMBETH Benjamin S., *Air Operations in Israel's War against Hezbollah. Learning from Lebanon and Getting it Right in Gaza*, Project Air Force, Santa Monica, RAND Corporation, 2011.
- LAMBETH Benjamin S., *Air Power Against Terror. America's Conduct of Operation Enduring Freedom*, Santa Monica, RAND Corporation, 2006.
- LAMBETH Benjamin S., *Air Power at 18,000'. The Indian Air Force in the Kargil War*, Washington, Carnegie Endowment for International Peace, 2012.
- LAMBETH Benjamin S., *American Carrier Air Power at the Dawn of a New Century*, Santa Monica, RAND Corporation, 2005.
- LAMBETH Benjamin S., *Mastering the Ultimate High Ground. Next Steps in the Military Uses of Space*, Santa Monica, RAND Corporation, 2003.
- LAMBETH Benjamin S., *NATO's Air War for Kosovo*, Santa Monica, RAND Corporation, 2001.
- LAMBETH Benjamin S., *The Transformation of American Air Power*, Ithaca, Cornell University Press, 2000.
- LEWIS Jeffrey, «“Hit-to-Kill” and the Threat to Space Assets», in *Celebrating the Space Age. 50 Years of Space Technology, 40 Years of the Outer-Space Treaty*, Conference Report, Genève, UNIDIR, 2007.
- LIBICKI Martin C., *Cyberdeterrence and cyberwar*, Pittsburg, RAND Corporation, 2009.
- LIBICKI Martin C., *Chinese Use of Cyberwar as an Anti-Access Strategy Two Scenarios*, Project Air Force, Santa Monica, RAND Corporation, janvier 2010.
- LIEBER Keir, *War and The Engineers, The Primacy Of Politics Over Technology*, Ithaca, Cornell University Press, 2005.
- LIND William S., *Maneuver Warfare Handbook*, Boulder, Westview Press, 1985.
- LUKASIK Stephen J., «To What Extent Can Precision Conventional Technologies Substitute for Nuclear Weapons?», in SOKOLSKI Henry D. (dir.), *The Next Arms Race*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2012, p. 387-412.
- MAHNKEN Thomas G., *Competitive Strategies for the 21st century. Theory, History, and Practice*, Stanford University Press, 2012.
- MAHNKEN Thomas G., *The Cruise Missile Challenge*, Washington, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2005.
- MANOR Mike et NEUMAN Kurt, «Space Assurance», in JASPER Scott (dir.), *Securing Freedom in the Global Commons*, Stanford University Press, 2010.
- MARTIN Kelly et FRITZ Oliver, «Sustaining the Air Commons», in *Contested Commons : The Future of a Multipolar World*, Center for a New American Security, janvier 2010.
- McGRATH John, *Fire for Effect, Field Artillery and Close Air Support in the US Army*, Fort Leavenworth, Combat Studies Institute Press, 2007.
- MEROM Gil, *How democracies lose small wars : state, society, and the failures of France in Algeria, Israel in Lebanon and the United States in Vietnam*, New York, Cambridge University Press, 2003.

- METS David R., *Air Power and Technology. Smart and Unmanned Weapons*, Westport, Praeger Security International, 2009.
- MIDDLEMAS Keith et BARNES Anthony J. L., *Baldwin : a Biography*, London, Macmillan, 1970.
- MILLER David, *The Cold War. A Military History*, Londres, Pimlico, 2001.
- MORROW Jr. John H., «The First World War, 1914-1919», in OLSEN John Andreas (dir.), *A History of Air Warfare*, Washington, Potomac Books, 2010.
- MUELLER Karl, «Flexible Power Projection for a Dynamic World : Exploiting the Potential of Air Power», in WILLIAMS Cindy, *Holding the line. US defense alternatives for the 21st century*, Cambridge, MIT Press, 2001.
- MURRAY Williamson, *Air War in the Persian Gulf*, Baltimore, Nautical and Aviation Press, 1995.
- MURRAY Williamson, *Military Adaptation in War. With Fear of Change*, Cambridge University Press, 2011.
- MURRAY Williamson et MILLETT Allan R. (dir.), *Military Innovation in the Interwar Period*, Cambridge University Press, 1996.
- MURRAY Williamson, SCALES Jr Robert H., *The Iraq War*, Cambridge, Harvard University Press, 2003.
- NALTY Bernard C., *The Air Force in Southeast Asia. Tactics and Techniques of Electronic Warfare. Electronic Counter-Measures in the Air War against North Vietnam, 1965-1973*, Office of Air Force history, 1977.
- NALTY Bernard C., *Air War over South Vietnam, 1968-1975*, Air Force History and Museums Program, United States Air Force, Washington DC, 2000.
- NOEL Jean-Christophe, «La manœuvre aérienne en question», in MALIS Christian (dir.), *Guerre et manœuvre. Héritages et renouveau*, Paris, Economica, 2009.
- NOTIN Jean-Christophe, *La vérité sur notre guerre en Libye*, Paris, Fayard, 2012.
- O'HANLON Michael, *Neither Star Wars Nor Sanctuary. Constraining The Military Uses of Space*, Washington, Brookings Institution Press, 2004.
- O'HANLON Michael E., *Technological Change and the Future of Warfare*, Washington, Brookings Institution Press, 2000.
- OCHMANEK David et SCHWARTZ Lowell H., *The Challenge of Nuclear-Armed regional Adversaries*, Santa Monica, RAND Corporation, 2008.
- OLSEN John Andreas (dir.), *A History of Air Warfare*, Washington, Potomac Books, 2010.
- OLSEN John Andreas, *Strategic Air Power in Desert Storm*, Londres, Frank Cass, 2003.
- PAPE Robert A., *Bombing to Win. Air Power and Coercion in War*, Ithaca, Cornell University Press, 1996.
- PINSKTON Daniel A., *The North Korean Ballistic Missile Program*, Carlisle, Strategic Studies Institute, février 2008.
- PODUVAL Sanjay, *Electronic Warfare. War in the fourth Dimension*, New Dehli, KW Publishers, Ltd, 2009.
- PODVIG Pavel (dir.), *Russian Strategic Nuclear Forces*, Cambridge, MIT Press, 2001.

- POLING Bob, *Air-Sea Battle : the Looming Challenges Facing Concept Development*, Air War College, février 2012.
- QUINLAN Michael, *Thinking About Nuclear Weapons, Principles, Problems, prospects*, Oxford University Press, 2009.
- RID Thomas, *War and Media Operations. The US Military and the Press from Vietnam to Iraq*, London, New York, Routledge, 2007.
- SANGER David E., *Confront and Conceal. Obama's secret wars and surprising use of American power*, New York, Crown Publishers, 2012.
- SAUNDERS Phillip C. et WISEMAN Joshua K., «Buy, Build, or Steal : China's Quest for Advanced Military Aviation Technologies», Institute for National Strategic Studies, *China Strategic Perspectives*, n° 4, décembre 2011.
- SCALES Jr Robert H., *Yellow Smoke. The Future of Land Warfare for America's Military*, New York : Rowman and Littlefield, 2003.
- SCHILLER Markus, *Characterizing The North Korean Nuclear Missile Threat*, Santa Monica, RAND Corporation, 2012.
- SCHLAPAK David et VICK Alan, *Check Six Begins On The Ground – Responding To The Evolving Ground Threat To The US Force Bases*, RAND Corporation, 1995.
- SCOBELL Andrew, David LAI et Roy KAMPHAUSEN (dir.), *Chinese Lessons from Other People's Wars*, Carlisle, Strategic Studies Institute, 2011.
- SHLAPAK David, Equipping the PLAAF : «The Long March to Modernity», in HALLION Richard P., CLIFF Roger et SAUNDERS Philip C. (dir.), *The Chinese Air Force. Evolving Concepts, Roles, and Capabilities*, Washington, NDU Press, 2012.
- SHLAPAK David A., VICK Alan, *Check Six Begins on the Ground, Responding to the Evolving Ground Threat to U.S. Air Force Bases*, Santa Monica, RAND Corporation, 1995.
- SHLAPAK David A., STILLION John, OLIKER Olga, CHARLICK-PALEY Tanya, *A Global Access Strategy for the US Air Force*, Santa Monica, RAND Corporation, 2002.
- SINGER Peter W., *Wired for War. The Robotics Revolution and Conflict in the 21st century*, New York, Penguin Books, 2010.
- SCHROEDER Matt, «Global Efforts to Control MANPADS», in *SIPRI Yearbook 2007*, Stockholm, SIPRI, 2006.
- STEPHENS Alan (dir.), *The War in the Air. 1914-1994*, Fairbairn, Royal Australian Air Force Aerospace Center, 1994.
- STILLION John, ORLETSKY David T., *Airbase Vulnerability to Conventional Cruise-Missile and Ballistic-Missile Attacks*, Project Air Force, RAND, 1999.
- STILLION John, PERDUE Scott, *Air Combat Past, Present and Future*, Santa Monica, RAND Project Air Force, août 2008.
- TANGUY Jean-Marc, *Harmattan : récits et révélations. Les opérations en Libye par ceux qui les ont vécues*, Paris, Nimrod, 2012.
- THE AIR FORCE ASSOCIATION, *The Air Force in the Vietnam War*, Arlington, VA, Aerospace Education Foundation, 2004.
- TILL Geoffrey, *Asia's Naval Expansion. An Arms Race In The Making?*, Londres, ISS Routledge, 2012.

TIRA Ron, *The Limitations of Standoff, Firepower Based Operations*, Tel Aviv, Institute for National Security Studies, 2007.

TOMES Robert R., *US Defense Strategy from Vietnam to Operation Iraqi Freedom. Military Innovation and the New American Way of War, 1973-2003*, Abingdon, Routledge, 2007.

VAN TOL Jan, *Air-Sea Battle : A Point-of-Departure Operational Concept*, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2010.

VAN ATTA Richard *et al.*, *Transformation and Transition : DARPA's Role in Fostering an Emerging Revolution in Military Affairs*, vol. 2 : Detailed Assessments, Alexandria, Institute for Defense Analyses, 2003.

WATTS Barry D., « American Air Power » in MURRAY Williamson (dir.), *The Emerging Strategic Environment. Challenges of the Twenty-First Century*, Westport, Praeger, 1999.

WATTS Barry D., *The Case for Long-Range Strike : 21st Century Scenarios*, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2008.

WEHREY Frederic, THALER David E., BENSANEL Nora, CRAGIN Kim, GREEN Jerrold D., KAYE Dalia Dassa, OWEIDAT Nadia et LI Jennifer, *Dangerous but not Omnipotent. Exploring the Reach and Limitations of Iranian Power in the Middle East*, Project Air Force, RAND, 2009.

WOODS Kevin M. *et al.*, *The Iraqi Perspectives Project. A View of Operation Iraqi Freedom from Saddam's Senior Leadership*, Suffolk, Joint Center for Operational Analysis, Joint Forces Command, 2006.

WORDEN Mike, *Rise of the Fighter Generals, the Problem of Air Force Leadership, 1945-1982*, Alabama, Air University Press, 1998.

WRIGHT David, GREGO Laura, GRONLUND Lisbeth, *The Physics of Space Security. A Reference Manual*, Cambridge, American Academy of Arts and Science, 2005.

ZAJEC Olivier, *Puissance aérienne et théâtre urbain*, Compagnie européenne d'intelligence stratégique, juillet 2007.

ARTICLES DE REVUES ET PUBLICATIONS SPÉCIALISÉES

ANTOINE Pierre-Alain, « Le Jaguar a partagé pendant 30 ans la guerre électronique avec ses frères », *Rubrique historique de Guerrelec*, n° 6, décembre 2005.

ANDRES Richard B., WILLS, Craig et Griffith Jr. Thomas E, « Winning With Allies : The Strategic Value of the Afghan Model », *International Security*, vol. 30, n° 3, hiver 2005-2006.

ANDREW Martin, « Revisiting the Lessons of Operation Allied Force », *Air Power Australia*, juin 2009.

AYTON Mark, « Next Gen Jammer. What to expect from America's next Generation Jammer. », *Air International*, vol. 84, n° 4, avril 2013.

BAUD Michel, « La cyberguerre n'aura pas lieu mais il faut s'y préparer », *Politique étrangère*, vol. 77, n° 2, 2012.

BECAM lieutenant-colonel, « La manœuvre génétique », *Forces aériennes françaises*, n° 152, 1959.

BERMAN Éric G., SCHROEDER Matt et LEFF Jonah, « Man-Portable Air Defence Systems (MANPADS) », *Small Arms Survey Research Notes*, n° 1, janvier 2011.

- BEVAN James, « Big Issue : Big Problem? MANPADS », *Small Arms Survey*, 2004.
- BIDDLE Stephen, « Allies, Airpower and Modern Warfare. The Afghan Model in Afghanistan and Iraq », *International Security*, vol. 30, n° 3, hiver 2005-2006.
- BOOT Max, « The New American Way of War », *Foreign Affairs*, vol. 82, n° 4, juillet-août 2003.
- BRONFELD Saul, « The Impact of the Yom Kippur War on the US Army », *The Journal of Military History*, vol. 71, n° 2, avril 2007.
- BRUN Itai, « While You're Busy Making Other Plans. The Other RMA », *The Journal of Strategic Studies*, vol. 33, n° 4, août 2010.
- BRUSTLEIN Corentin, « La surprise stratégique. De la notion aux implications », *Focus stratégique*, n° 10, octobre 2008.
- BRUSTLEIN Corentin, « Vers la fin de la projection de forces ? » « I. La menace du déni d'accès », *Focus stratégique*, n° 20, avril 2010.
- BRUSTLEIN Corentin, « Vers la fin de la projection de forces ? » « II. Parades opérationnelles et perspectives politiques », *Focus stratégique*, n° 21, mai 2010.
- BYMAN Daniel L., WAXMAN Matthew C., « Kosovo and the Great Air Power Debate », *International Security*, vol. 27, n° 3, hiver 2002-2003.
- CLARK Julius E., « CAS, Myths, Realities and Planning Principles », *Field Artillery*, juillet-août 2005.
- CLOUET Louis-Marie, « Rosoboronexport, fer de lance de l'industrie russe de l'armement », *Russie NEI Visions*, n° 22 septembre 2007.
- COQUET Philippe, « La notion de partage capacitaire en question », *Focus stratégique*, n° 8, juin 2008.
- COHEN Eliot A., « The Mystique of US Air Power », *Foreign Affairs*, vol. 73, n° 1, 1994.
- CREVELD Martin Van, « Military Lessons of the Yom Kippour War : Historical Perspectives », *The Washington Papers*, vol. 3, n° 24, CSIS, Londres, Sage Publications, 1975.
- DEBLOIS Bruce M., GARWIN Richard L., KEMP Scott R., et MARWELL Jeremy C., « Space Weapons. Crossing the US Rubicon », *International Security*, vol. 29, n° 2, automne 2004.
- DIGBY James, « Precision-Guided Weapons », *Adelphi Papers*, n° 118, 1975.
- de DURAND Étienne, « L'interarmées aux États-Unis, rivalités bureaucratiques, enjeux opérationnels et idéologies de la jointness », *Focus Stratégique*, n° 3, novembre 2007.
- de DURAND Étienne, « Le renouveau de la puissance aérienne », *Hérodote*, 2004/3, n° 114.
- de DURAND Étienne, « Les faces cachées de la puissance aérienne », *Revue défense nationale*, n° 6, juin 2007.
- de DURAND Étienne, MICHEL Benoît et Elie TENENBAUM, « La guerre des hélicoptères. L'avenir de l'aéromobilité et de l'aérocombat », *Focus Stratégique*, n° 32, juin 2011.
- FOUCAULT Martial, « Les budgets de défense en France. Entre déni et déclin », *Focus Stratégique*, n° 36, avril 2012.

- FRANKLIN Michael, «Unmanned Combat Air Vehicles : Opportunities for the Guided Weapon Industry?», Royal United Services Institute for Defence and Security Studies, *Occasional Paper*, septembre 2008.
- FREEDMAN Lawrence, «The Revolution in Strategic Affairs», *Adelphi Papers*, n° 318, 1998.
- FROMAGET Laurent, «Le feu dans le modèle de guerre occidental», *Focus Stratégique*, n° 16, mai 2009.
- GALLAGHER Sean, «Air Force Lays Foundation for Strong Cyber Defense», *Defense Systems*, 9 août 2010.
- GAVIARD Jean-Patrick (général), «Les forces aériennes françaises et l'opération *Allied Force*», *Penser les ailes françaises*, n° 21, automne 2009, p. 70-76.
- GRANT Rebecca, «Countering the Missile Threat», *Airforce Magazine*, décembre 2010.
- GRAU Lester W., «Technology and the Second Chechen War. Not All New and Not That Much», in ALDIS Anne (dir.), *The Second Chechen War, SCSI Occasional Papers*, n° 40, Londres, 2000.
- GRUSELLE Bruno et PAYRE Guillaume, «Iran. La défense aérienne face à une attaque préventive contre ses sites nucléaires», *Notes de la FRS*, 30 janvier 2006.
- GRUSELLE Bruno, «Missiles de croisière et stratégie d'anti-accès», *Recherche et documents*, FRS, 2006.
- HAYSTEAD John, «NGJ. Advanced Tactical Jamming for Next Generation Warfare», *Journal of Electronic Defense*, juin 2012.
- HAYSTEAD John, «Pouncing the SAMS. Networking and UCAV's Modernize the Lethal SEAD Mission», *Journal of Electronic Defense*, novembre 2011.
- HEBERT Adam J., «The False Death of Airpower», *Air Force Magazine*, n° 4, août 2011.
- HEWSON Robert, «Electric Dragons Airborne Electronic Warfare Capabilities in China», *RUSI Defence Systems*, printemps 2012.
- HILLSON Maj Franklin J., USAF, «Barrage Balloons for Low-Level Air Defense», *Air & Space Power Journal*, été 1989.
- HOFFMAN Franck G., «Hybrid Warfare and Challenges», *Joint Forces Quarterly*, n° 52, 2009.
- HOLLOSI Charles, «SLCMs emerge as weapon of choice for deep strike», *Jane's Navy International*, mars 2009.
- ISBY David, NORDEEN Lon et AYTON Mark, The Systems. Details of the Growler's Major System, *Air International*, vol. 84, n° 4, avril 2013.
- JOHNSON M.H., «Clear to Engage. Improving the effectiveness of JCAS», *Air & Space Power Journal*, été 2008.
- KOPP Carlo, «Almaz-Antey 40R6/S-400 Triumf. Self Propelled Air Defence System/ SA-21», *Technical Report Air power Australia*, mai 2009.
- KOPP Carlo, «Almaz S-300 – China's "Offensive" Air Defense», *International Assessment and Strategy Center*, 25 février 2006.
- KOPP Carlo, «Asia's New SAMs», *Australian Aviation*, novembre 2003.
- KOPP Carlo, «Evolution of AESA Radar Technology», *Microwave Journal*, août 2012.

- KOPP Carlo, «Evolving Technological Strategy in Advanced Air Defense Systems», *Joint Force Quartely*, n° 57, 2010.
- KOPP Carlo, «Flanker Radars in Beyond Visual Range Air Combat», *Air Power Australia*, 3 avril 2008, mis à jour en avril 2012.
- KOPP Carlo, «Missiles in the Asia Pacific», *Defence Today*, avril 2005, p. 62-67.
- KOPP Carlo, «Next Generation SAMs for Asia a Wake up Call for Australia», *Australian Aviation*, octobre 2003.
- KOPP Carlo, «Operation Desert Storm : the Electronic Battle Parts 1-3», *First published Australian Aviation, Air power Australia*, août 1993.
- KOPP Carlo, «Post Cold War Air to Air Missile Evolution», *Defence Today*, mars 2009.
- KOPP Carlo, «Proliferation of Advanced Surface to Air Missiles», *Air Power Australia*, juin 2009.
- KOPP Carlo, «Reassessing Iran's Air Defences», *Air Power Australia*, 17 juillet 2010.
- KOPP Carlo, «Russian Fighter Technology Accelerates», *Defence Today*, mars 2011.
- KOPP Carlo, «SAM System Mobility. Russian and PLA Air Defense System Vehicles», *Technical Report Air Power Australia*, juin 2008.
- KOPP Carlo, «Surface to Air Missile Effectiveness in Past Conflicts», *Technical Report Air Power Australia*, octobre 2010.
- KOPP Carlo, «Surviving the Modern Integrated Air Defense System», *Air Power Australia Analysis*, 3 février 2009.
- KOPP Carlo et GOON Peter, «Assessing the Sukhoi PAK-FA», *Air Power Australia Analysis*, 15 février 2010.
- KOPP Carlo et PELOSI Michael P., «A Preliminary Assessment of Spectacular Radar Cross Section Performance in the Cheng-du J-20 Prototype», *Air Power Australia Analysis*, 4 juillet 2011.
- LAIRD Robbin F., «TIMPERLAKE Edward T., The F-35 and the Future of Power Projection», *Joint Forces Quaterly*, n° 66, 3^e semestre 2012.
- LAMBETH Benjamin S., «Kosovo and the Continuing SEAD Challenge», *USAF Aerospace Power Journal*, n° 3, été 2002.
- LE BOT Olivier, «Le radar AESA. Technologie clé pour la performance et sésame pour la vente des avions de combat au XXI^e siècle», *DSI*, n° 67, février 2011.
- LEFEBVRE Stéphane et Roger McDERMOTT, «Air Power and the Russian-Georgian Conflict of 2008 : Lessons Learned and Russian Military Reforms», *Air Power Review*, vol. 12, n° 1, printemps 2009, p. 92-112.
- LEFEEZ Sophie, «Toujours plus chers ? Complexité des armements et inflation des coûts militaires», *Focus Stratégique*, n° 42, février 2013.
- LEGRAND Jean-Vincent, «L'avenir de la mission SEAD : la réponse AASM», *Lettre d'information de Guerellec*, n° 39, novembre 2009.
- LEWIS George N. et POSTOL Theodore A., «How US strategic missile defense could be make to work», *The bulletin of Atomic Scientists*, vol. 66, n° 6, novembre-décembre 2010.
- MAHNKEN Thomas G., «China's Anti-Access Strategy in Historical and Theoretical Perspective», *Journal of Strategic Studies*, vol. 34, n° 3, p. 299-323, 2011.

- MANZ Barry, «Is EW Ready For ASEA (And Vice-Versa) ?», *Journal of Electronic Defense*, septembre 2012.
- McDERMOTT Roger N., «Russia's Conventional Armed Forces and the Georgian War», *Parameters*, printemps 2009, p. 65-80.
- McGRAW Gary, «Cyber War Is Inevitable (Unless We Build Security In)», *Journal of Strategic Studies*, vol. 36, n° 1, février 2013.
- MEARS Mark J., «Cooperative Electronic Attack using Unmanned Air Vehicles», Air Force Research Laboratory, *Air Vehicle Directorate*, Wright Patterson AFB, OH, 2006.
- MERCIER Jean-Jacques, «Au Coeur de la spatiodépendance. La navigation par satellite», *Défense et sécurité internationale*, hors-série n° 28, février-mars 2013.
- MICHEL Benoît, «Les opérations aéroportées : la profondeur stratégique en question», *Focus stratégique*, n° 37, mai 2012.
- NORTON C.J.R., «Operation "Allied Force" : What Will it Take to Make the UK's Fragile Air Power Capability, more Robust?», *Defence Studies*, vol. 2, n° 3, p. 53-76.
- O'CONNOR Sean, «Strategic SAM Deployment in Iran», *Technical Report Air Power Australia*, janvier 2010.
- O'CONNOR Sean, «Strategic SAM Deployment in Syria», *Technical Report Air Power Australia*, janvier 2010.
- OLIVERI Franck, «The Pentagon's GPS problem», *CQ Weekly*, 9 février 2013.
- OWEN Robert, Coté Jr., *Submarines in the Air Sea Battle*, John Hopkins University/ Applied Physics Laboratory Submarine Technology Symposium, 2010.
- PATCH John, «Fortress at Sea The Carrier Invulnerability Myth», *Proceedings*, vol.136, n° 1, janvier 2010.
- PENENT Guilhem, «Une nouvelle donne pour les affaires spatiales. Petits satellites, grands bouleversements ?», *DSI*, hors-série, n° 28, février-mars 2013.
- PERRY Dominic, «Stealthy Steps, Flight International», 16-22 avril 2013.
- PETERSON Dale, «Offensive Cyber Weapons : Construction, Developments and Employment», *Journal of Strategic Studies*, vol. 36, n° 1, 2013.
- PODUVAL Sanjay, «Electronic Warfare in the 21st Century», *Air Power Journal*, vol. 3, n° 2, été 2008.
- POIRIER Lucien, «Stratégie intégrale et guerre limitée», *Stratégique*, n° 54, 1992.
- POSEN Barry R., «Command of the Commons. The Military Foundations of US Hegemony», *International Security*, vol. 28, n° 1, 2003.
- POSEN Barry R., «The War for Kosovo : Serbia's Political-Military Strategy», *International Security*, vol. 24, n° 4, printemps 2000.
- PRIBBENOW II Merle L., «The – Ology War : Technology and Ideology in the Vietnamese Defense of Hanoi, 1967», *The Journal of Military History*, vol. 67, n° 1, janvier 2003.
- RID Thomas, «Cyber War Will Not Take Place», *Journal of Strategic Studies*, vol. 35, n° 1, février 2011.
- SAXENA V. K., «Stealth and Counterstealth. Some Emerging Thoughts and Continuing Debates», *Journal of Defence Studies*, vol. 6, n° 3, juillet 2012, p. 19-28.

- SCHWARTZ Norton A., « Air-Sea Battle Promoting Stability in an Era of Uncertainty », *The American Interest*, 20 février 2012.
- SCOBELL Andrew et Andrew J. NATHAN, « China's Overstretched Military Strategy », *The Washington Quarterly*, vol. 35, n° 4, automne 2012, p. 135-148.
- SCOTT Richard, « Spain's A80-A submarine comes up to surface », *Jane's Navy International*, décembre 2007.
- SHIMSHONI Jonathan, « Technology, Military Advantage and World War I : The Case of Military Entrepreneurship », *International Security*, vol. 15, n° 3, hiver 1990-1991.
- SIEGEL Adam B., « Missile Defense at the Waterfront : Implications of the SCUD Missile Attack on Al Jubayl Port, 15-16 February 1991 », *Defense & Security Analysis*, vol. 19, n° 1, 2003, p. 15-33.
- STRACHAN Hew, « Strategy and The Limitation of War », *Survival*, vol. 50, n° 1, février-mars 2008.
- SYMANTEC CORPORATION, *Internet Security Threat Report 2012 Trends*, vol. 18, avril 2013.
- SWEETMAN Bill, FABEY Michael et MACKENZIE Christina, « Air Defense Suppliers Expand Options », *Defense Technology International*, juin 2012.
- TENENBAUM Elie, « Entre ciel et terre. Le débat air-sol et les défis de l'appui-feu », *Focus stratégique*, n° 35, février 2012.
- TERRETT Kevin, « Stalemate : How the Future of Air Power might look in the Shadow of the Emerging Fifth-generation Air Threat », *RAF Air Power Review*, vol. 15, n° 2, été 2012. *The Military Balance 2012*, Londres, The International Institute for Strategic Studies, Routledge, 2012.
- THOMAS Timothy L., « Russian Tactical Lessons Learned Fighting Chechen Separatists », *Journal of Slavic Military Studies*, vol.18, n° 4, 2005.
- VENNESSON Pascal, « Bombarder pour convaincre ? Puissance aérienne, rationalité limitée et diplomatie coercitive au Kosovo », *Culture & Conflits*, n° 37, 2000.
- WESTRA Arend G., « Radar versus Stealth. Passive Radar and the Future of US Military Power », *Joint Forces Quarterly*, n° 55, 2009.
- WHITMIRE James C., « Shoulder Launched Missiles, aka MANPADS : the Ominous Threat to Commercial Aviation », *The Counterproliferation Papers, Future warfare series*, n° 37, Air University, décembre 2006.
- WILLS Colin, « The Potential for Unmanned Combat Air Systems to Gain Control of the Air in Future Warfare », *Air Power Review*, vol.15, n° 2, 2012, p. 33-53.
- WILSON J.R., « 6th Generation Combat Aircraft », *Defense Media Network*, 16 mai 2012.
- WODKA-GALLIEN Philippe, « Dans le ciel de Libye », *Lettre d'information de Guerrélec*, n° 43, juin 2011.
- WODKA-GALLIEN Philippe, « Retour sur l'AOC Dayton », *Lettre d'information de Guerrélec*, n° 21, mai 2004.
- ZAJEC Olivier, « Le trou capacitaire et opérationnel de la SEAD/DEAD. Bientôt dans les standards européens ? », *DSI*, n° 64, novembre 2010.
- ZALOGA Steven J., « Defending the Capitals : The First Generation of Soviet Air Defense Systems, 1950-1960 », *The Journal of Slavic Military Studies*, vol. 10, n° 4, 1997.

- «96K6 Pantsyr-S1», *Jane's Land based Air Defence (online)*, 12 décembre 2012.
- Air-Sea Battle Doctrine : a Discussion with the Chief of Staff of the Air Force and Chief of Naval Operations*, The Brookings Institution, 16 mai 2012.
- «Alliant Techsystems (ATK) AGM-88E Advanced Anti Radiation Guided Missile (AARGM)/Affordable Reactive Strike Missile (ARES)», *Jane's C4ISR & Mission Systems (online)*, 8 octobre 2012.
- «AN/ASQ-213 HARM Targeting System (HTS)», *Jane's C4ISR & Mission Systems (online)*, 19 novembre 2012.
- «HQ-9/FT-200», *Jane's Land Based Air Defence*, 11 octobre 2011.
- «Israel Aerospace Industries (IAI)/MBDA/Raytheon CUTLASS/Harpy/HAROP/White Hawk», *Jane's Electronic Mission Aircraft (online)*, 9 septembre 2011.
- «La guerre aérienne en 2030. Prospective des systèmes de force», *Histoire et Stratégie*, n° 6, juin-juillet 2011.
- «NATO flies against S-300 et MACE XIII», *Journal of Electronic Defense*, juin 2012.
- «Quelle guerre électronique aujourd'hui en France?», *Lettre d'information de Guerrélec*, n° 41, juin 2010.
- «ROEM spatial : l'heure des choix», *TTU*, n° 871, 19 décembre 2012.
- «SCALP-EG/Storm Shadow (Black Shaheen) and Apache», *Jane's Air Launched Weapons (online)*, 30 octobre 2012.
- «S-300P», *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 26 février 2013.
- «S-500», *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 21 décembre 2012.
- Space Security 2011*, Waterloo, Project Plougshares, 2011.
- Space security 2012*, Waterloo, Project Plougshares, 2012.
- «SPECTRA», *Jane's Radar and Electronic Warfare Systems (online)*, 24 novembre 2012.
- «Tor», *Jane's Land Based Air Defence (online)*, 11 octobre 2011.
- «Transall C.160G Gabriel Signals Intelligence variant», *Jane's C4ISR & Mission Systems (online)*, 19 mars 2013.
- «Why They Died Civilian Casualties in Lebanon During the 2006 War», *Human Rights Watch Studies*, vol. 29, n° 5, septembre 2007.

PRESSE ET SOURCES INTERNET

- ANTOINE Pierre-Alain, «Le Jaguar a partagé pendant 30 ans la GE avec ses frères», *Rubrique historique de Guerrelec*, n° 6, 2005.
- AXE David, «How to Defeat the Air Force's Powerful Stealth Fighter», blog *Danger Room*, 30 juillet 2012, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2012/07/f-22-germans/>.
- AXE David, «Lockheed's Dubious Claim : Stealth Fighter will Get Stealthier with Age», blog *Danger Room*, 6 novembre 2012, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2012/11/f-35-gets-stealthier/>.
- AXE David, «One of these Bots Will be the Navy's next Killer Drone», blog *Danger Room*, 27 mars 2013, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2013/03/navy-next-killer-drone/>.

AXE David, «Romney Promises to Revive Stealth Jets, but it won't happen», Danger Room, 9 novembre 2012, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2012/09/romney-more-f-22s/>.

AXE David, «Why the US Wants A New Bomber (interview avec David Deputla)», *The Diplomat*, 6 mai 2012.

BALDAUF Scott, «Indian Air Force, in War Games, Gives US a Run. Foreign Fighter Jets Performed well against F-16s in Recent Exercises», *The Christian Science Monitor*, 28 novembre 2005.

BETRAND Domitille, «Programme Ceres, un nouveau pas dans la détection de signaux électromagnétiques», 23 mars 2012, accessible à l'adresse : <http://www.defense.gouv.fr/actualites/dossiers/espace-militaire/cooperation-internationale-et-avenir-recherche-et-developpement/developpement-et-programmes-futurs/programme-ceres-un-nouveau-pas-dans-la-detection-de-signaux-electromagnetiques>

BOYD John R., «Patterns of Conflict», décembre 1986, accessible à l'adresse : <http://www.dnipogo.org/boyd/pdf/poc.pdf>.

BUTT Yousaf, «Rabid Response», *Foreign Policy*, 22 mars 2013, accessible à l'adresse : http://www.foreignpolicy.com/articles/2013/03/22/rabid_response?wp_login_redirect=0.

CABIROL Michel, «Défense : le livre blanc prepare un tsunami pour les armées», *La Tribune*, 18 février 2013.

CHARRETTE Robert N., «Commercial Drones and GPS Spoofers a Bad Mix», *IEEE Spectrum*, 25 juin 2012, accessible à l'adresse : <http://spectrum.ieee.org/riskfactor/aerospace/aviation/commercial-drones-and-gps-spoofers-a-bad-mix>

CHIVERS C.J., «Libya's SA-24 «Stinger Equivalents», a Source of Enduring Confusion.», blog *The Gun*, 24 mai 2012, accessible à l'adresse : <http://cjchivers.com/post/23669190674/libyas-sa-24-stinger-equivalents-a-source-of>.

COHEN Gili, «Syria Training Hezbollah to Use Antiaircraft Guns. IDF Officers Believe that Hezbollah Use of Advanced Antiaircraft Missiles Could Jeopardize Israeli Aerial Supremacy», *Haaretz*, 18 mars 2012.

COLLIN Jean-Marie, La France SCALP la Libye, *Alternatives Internationales*, 25 mars 2011, disponible à l'adresse : <http://alternatives-economiques.fr/blogs/collin/2011/03/25/la-france-scalp-la-libye/>

DROIT Yohan, «Mission et capacités SEAD – Une perspective de l'armée de l'Air», *Brèves du CESA*, septembre 2012, accessible à l'adresse : http://www.cesa.air.defense.gouv.fr/IMG/pdf/Mission_et_capacites_SEAD-sept_2012.pdf.

DSOUZA Larkins, «Who shot down F-117?», *Defence Aviation*, 8 février 2007.

DUNNIGAN James, «Iran Makes Mediocre Better», *Strategy Page*, 2 octobre 2012, accessible à l'adresse : <http://www.strategypage.com/htmw/htada/articles/20121002.aspx>.

DUVAUCHELLE Antoine, «Cybersécurité, le gouvernement pourra renforcer le rôle de l'Anssi», *ZDnet*, 20 mars 2013, accessible à l'adresse : <http://www.zdnet.fr/actualites/cybersecurite-le-gouvernement-pourrait-renforcer-le-role-de-l-anssi-39788416.htm>.

ELLEMAN Michael, «Prelude to an ICBM? Putting North Korea's Unha-3 Launch into Context», *Arms Control Today*, mars 2013, accessible à l'adresse : http://www.armscontrol.org/act/2013_03/Prelude-to-an-ICBM%3FPutting-North-Koreas-Unha-3-Launch-Into-Context.

ENISA, «Deployment of Baseline Capabilities of National/Governmental CERTs», 2012, accessible à l'adresse : <https://www.enisa.europa.eu/activities/cert/support/files/status-report-2012>.

FAURE Daniel, «La menace des missiles SAM en Lybie», *Info Aviation*, 28 mars 2011, accessible à l'adresse : <http://info-aviation.com/?p=8681>.

FARGO Matthew, «Iron Dome, A Watershed for Missile Defense?», blog du Center for Strategic and International Studies, 3 décembre 2012, accessible à l'adresse : <https://csis.org/blog/iron-dome-watershed-missile-defense>

FLECHAUX Reynald, «Le ministère de la Défense poursuit sa lune de miel avec Microsoft», *LeMagiT*, 18 avril 2013, accessible à l'adresse : <http://www.lemagit.fr/divers/2013/04/18/le-ministere-de-la-defense-poursuit-sa-lune-de-miel-avec-microsoft/>.

FOLLATH Erich et STARK Holger, «The Story of «Operation Orchard»». How Israel Destroyed Syria's Al Kibar Nuclear Reactor», *Spiegel Online International*, 11 février 2009.

FORNOF Terrence, «Vayu Sena. Red Flag 2008-4», 16 février 2009, accessible à l'adresse : <http://vayu-sena.indianmilitaryhistory.org/exercise-red-flag-su-30mki-comparison-fornof.shtml>

FULGHUM David A., «US Air Force Reveals Budget Cut Details», *Aviation Week*, 3 février 2012, accessible à l'adresse : http://www.aviationweek.com/aw/generic/story_channel.jsp?channel=defense&id=news/awx/2012/02/02/awx_02_02_2012_p0-420642.xml.

FULGHUM David A., «Why Syria's air defenses failed to detect Israelis», blog *Ares. A Defense and Technology blog*, 3 octobre 2007, accessible à l'adresse : <http://www.aviationweek.com/aw/blogs/defense/index.jsp>

GARAMONE Jim, «CENTCOME Charts Operation Iraqi Freedom Progress», *Defense.gov*, 25 mars 2003, <http://www.defense.gov/news/newsarticle.aspx?id=29230>.

GORMAN Siobhan, COLE August et DREAZEN Yochi, «Computer Spies Breach Jet Fighter Program», *The Wall Street Journal*, 21 avril 2009.

HADDOX Chris, «Boeing CHAMP Missile Completes 1st Flight Test», *Boeing Media Room*, 22 septembre 2011.

HAMBLING David, «New Missile Kills Air Defenses DEAD», *Danger Room, Wired*, 23 décembre 2008, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2008/12/new-missile-kil/>

HENROTIN Joseph, «L'évolution des missions aériennes», *Histoire & stratégie*, n° 6, juin-juillet 2011.

KERSHNER Isabel et GORDON Michael R., «Israeli Airstrike in Syria Targets Arms Convoy, U.S. says», *New York Times*, 30 janvier 2013.

KRAMER Andrew E, «Russia Sending Missile Systems to Shield Syria ?», *The New York Times*, 15 juin 2012.

LEMELLE Ingrid, «Un recrutement sur quatre dans l'informatique», *La dépêche.fr*, 18 mars 2013, accessible à l'adresse : <http://www.ladepeche-emploi.fr/edito/actualite-ladepeche/article/un-recrutement-sur-quatre-dans-linformatique.html>.

LEWIS Jeffrey, «Iraq and GPS Jamming», *Armscontrolwonk*, 15 septembre 2004, <http://lewis.armscontrolwonk.com/archive/39/iraq-and-gps-jamming>.

LOYD Seth, « What Comes After The Computer Chip? Quantum Computing Holds Much Promises », Slate.com, 20 mars 2013, accessible à l'adresse : http://www.slate.com/blogs/future_tense/2013/03/20/quantum_computing_and_the_future_of_moore_s_law.html.

MAJUMBAR Dave, « US Air Force Budgets for New Bomber, Revises Space Approach », *Defense News*, 21 février 2011.

MAJUMBAR Dave, « USAF targets long-range strike bomber », *Flight Global*, 15 octobre 2012.

MANACH Jean-Marc, « Éric Filliol : « l'État doit s'appuyer sur les hackers » », *Le Monde blog*, le 24 mai 2010, accessible à l'adresse : <http://bugbrother.blog.lemonde.fr/2010/05/24/eric-filliol-letat-doit-sappuyer-sur-les-hackers/>.

MARKS Paul, « Wanna Jam It? », *New Scientist*, 22 avril 2000.

MERCHET Jean-Dominique, « Le rôle déterminant des drones armés », blog *secret-défense*, 15 septembre 2011, accessible à l'adresse : http://www.marianne.net/blogsecretdefense/Libye-le-role-determinant-des-drones-armes_a368.html.

MERCHET Jean-Dominique, « Les armées attaquées par un virus informatique », blog *secret-défense*, 5 février 2009, accessible à l'adresse : <http://secretdefense.blogs.liberation.fr/defense/2009/02/les-armes-attaq.html>.

MERCHET Jean-Dominique, « Rafale contre F-22 : le bilan du match », blog *secret-défense*, 16 février 2010, accessible à l'adresse : <http://secretdefense.blogs.liberation.fr/defense/2010/02/rafale-contre-f22-le-bilan-du-match-.html>.

MOUSSU Nelly, « Des réservistes spécialisés en cyberdéfense », ministère de la défense, accessible à l'adresse : <http://www.defense.gouv.fr/actualites/articles/des-reservistes-specialises-en-cyberdefense>.

NAKASHIMA Ellen, « Pentagon proposes more Robust Role for its Cyber-pecialist », *The Washington Post*, 10 août 2012, accessible à l'adresse : http://www.washingtonpost.com/world/national-security/pentagon-proposes-more-robust-role-for-its-cyber-specialists/2012/08/09/1e3478ca-db15-11e1-9745-d9ae6098d493_story.html.

PARSONS Dan, « Air Force Trades Quantity for Quality », *National Defense*, mars 2012, accessible à l'adresse : <http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2012/March/Pages/AirForceTradesQuantityForQuality.aspx>.

PILKINGTON Ed, « Insurgents May Have New Anti-Aircraft Weapon », *The Guardian*, 5 février 2007.

RAWNSLEY Adam, « Who Sold Libya its Supermissiles? », *Wired, Danger room*, 23 mars 2011, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2011/03/who-sold-libya-its-super-missiles/>.

REED John, « Cyber Command fielding 12 “offensive” cyber deterrence units », *Foreign Policy / National Security*, 12 mars 2013, accessible à l'adresse : http://killerapps.foreignpolicy.com/posts/2013/03/12/us_cyber_command_developing_13_offensive_cyber_deterrence_units.

ROSENBERG Zach, « USAF Cancels AMRAAM Replacement », *Flightglobal.com*, 14 février 2012, accessible à l'adresse : <http://www.flightglobal.com/news/articles/usaf-cancels-amraam-replacement-368249/>.

SAIZ Jerome, « La France présente sa Réserve citoyenne cyberdéfense », *Qualys Security Community*, 2 avril 2013, accessible à l'adresse : <http://magazine.qualys.fr/cyber-pouvoirs/reserve-citoyenne-cyberdefense/>.

SAMSON Victoria, «India's Missile Defense/Anti-satellite Nexus», *The Space Review*, 10 Mai 2010, accessible à l'adresse : <http://www.thespacereview.com/article/1621/1>.

SHACHTMAN Noah, «Computer Virus Hits US Drone Fleet», blog *Danger Room*, 7 octobre 2011, accessible à l'adresse : <http://www.wired.com/dangerroom/2011/10/virus-hits-drone-fleet/>.

SCHROEDER Matt, «Countering the MANPADS : Threat : Strategies for Success», *Arms Control Association*, septembre 2007.

SIBONI Gabi et KRONENFELD Sami, «Iran's Cyber Warfare», *INSS Insight*, n° 375, 15 octobre 2002, accessible à l'adresse : <http://www.inss.org.il/publications.php?cat=21&incat=&read=10242>.

STEUER Guillaume, «Rafale, l'ASEA en septembre à Mont-de-Marsan», *Air et Cosmos*, 29 juin 2012.

TANGUY Jean-Marc, «Les carences françaises, selon le general Gaviard», *Le Mamouth*, 28 avril 2009, accessible à l'adresse : <http://lemamouth.blogspot.com/2009/04/les-carences-francaises-selon-le.html>.

TENENBAUM Elie, «Narco-insurrection au pays du serpent en plumes», *DSI*, n° 70, mai 2011.

TRIMBEL Stephen, «In Focus : USAF committed to replace AMRAAM and HARM with new missile», *Flightglobal.com*, 6 décembre 2011, accessible à l'adresse : <http://www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-usaf-committed-to-replace-amraam-and-harm-with-new-missile-365333/>.

TRIMBEL Stephen, «Irregular Warfare Offers new Role for Propeller Driven Aircraft», *Flight International*, 26 octobre 2010.

TYMCHUK Dmitri, «Iran against West : Air Defense Chance of Success», *Strategic Culture Foundation*, 4 février 2012, accessible à l'adresse : <http://www.strategic-culture.org/news/2012/02/04/iran-against-west-air-defense-chance-of-success.html>.

WEISGERBER Marcus, interview du Lt. Gen. Christopher Miller, *Defense News*, 21 mai 2012.

WILLIAMS Dan, Iron Dome shootdowns of gaza rockets cost 25-30 millions \$ to Israel, *Reuters*, 22 novembre 2011, accessible à l'adresse : <http://www.reuters.com/article/2012/11/22/us-israel-palestinians-iron-dome-idUSBRE8AL0BS20121122>

WITHINGTON Thomas, «Code of Mass Disruption», *Armada International*, octobre 2012.

«2012 Cyber Attacks Statistics», blog Hackmageddon, accessible à l'adresse : <http://hackmageddon.com/2012-cyber-attacks-statistics-master-index/>.

«AASM – Fiche technique», *Ixarm*, consulté le 23 avril 2010, accessible à l'adresse : <http://www.ixarm.com/Fiche-technique,18987>.

«Allocution du général Philippe Steininger, conseiller auprès du SG au SGDSN», non daté, accessible à l'adresse : http://www.cesa.air.defense.gouv.fr/IMG/pdf/Intervention_de_Philippe_Steininger.pdf.

«B-2 Spirit», *GlobalSecurity.org*, consulté le 23 avril 2010, accessible à l'adresse : <http://www.globalsecurity.org/wmd/systems/b-2.htm>.

«BGM-109 Tomahawk», *Globalsecurity.org*, consulté le 23 avril 2010, accessible à l'adresse : <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/bgm-109.htm>.

«Can ASEA be jammed?», *World Affairs Board*, <http://www.worldaffairsboard.com/military-aviation/54249-can-aea-jammed-1.html>.

«China Jamming Test Sparks US Satellite Concerns», *USA Today*, 5 octobre 2006, accessible à l'adresse : http://usatoday30.usatoday.com/tech/news/2006-10-05-satellite-laser_x.htm

«Chinese air defence systems for Malaysia», 14 octobre 2005, accessible à l'adresse : <http://sgforums.com/forums/1164/topics/157360>

«Fortifying Guam's Infrastructure», *Air Force Magazine*, 11 avril 2011, disponible à l'adresse : <http://www.airforcemag.com/DRArchive/Pages/2011/April%202011/April%2011%02011/FortifyingGuam'sInfrastructure.aspx>

«Gaddafi using human shields to curb air strikes NATO», *Reuters US Online Report Top News*, avril 2011.

«Libye : le rôle déterminant des drones armés», blog secret-défense, 15 septembre 2011, accessible à l'adresse : http://marianne.net/blogsecretdefense/Libye-le-role-determinant-des-drones-armes_a368.html

«Libye : Point de situation opération Harmattan n° 1 », *Defense.gouv.fr*, 25 mars 2011, accessible à l'adresse suivante : <http://www.defense.gouv.fr/actualites/operations/libye-point-de-situation-operation-harmattan-n-1>

«The Libyan Air Defense System. Libya's Surface to Air Missile (SAM) Network», *Global research*, 21 mars 2011, accessible à l'adresse : <http://www.globalresearch.ca/index.php?context=va&aid=23841>.

«MACE XIII against SA-10 – aka S300», *Russian Military Forum*, 12 avril 2013, accessible à l'adresse : <http://www.russiadefence.net/t2447-mace-xiii-against-sa-10-aka-s300/>.

«MAKS : Russian Firms debuts shipping container housed cruise missiles», *Flight Global*, 23 août 2011, accessible à : <http://www.flightglobal.com/news/articles/maks-russian-firm-debuts-shipping-container-housed-cruise-missiles-361105/>.

«Ohio-class SSGN-726 Tactical Trident», *GlobalSecurity.org*, consulté le 23 avril 2010, accessible à l'adresse : <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/ssgn-726.htm>;

«S-300 pour l'Iran : la Russie a perdu des centaines de millions de dollars», *RIA Novosti*, 1^{er} mars 2013.

«Serb Discusses 1999 Downing of Stealth», *USA Today*, 26 octobre 2005, accessible à l'adresse : http://usatoday30.usatoday.com/news/world/2005-10-26-serb-stealth_x.htm

«SPECTRA on Rafale, good or bad?», *Strategypage.com*, 22 février 2011, accessible à l'adresse : <http://www.strategypage.com/militaryforums/6-75209.aspx#startofcomments/>.

«SPECTRA : bouclier et cape d'invisibilité», *Air et Cosmos*, hors-série spécial *Rafale*, juin 2010.

«Storm Shadow/Black Shaheen/SCALP-EG», *Deagel.com*, 7 mars 2010, accessible à l'adresse : http://www.deagel.com/Land-Attack-Cruise-Missiles/Taurus-KEPD-350_a001100001.aspx.

«Taurus KEPD 350», *Deagel.com*, 7 mars 2010, accessible à l'adresse : http://www.deagel.com/Land-Attack-Cruise-Missiles/Taurus-KEPD-350_a001100001.aspx.

«T3 : Triple Target Terminator Terminus», *Defense Industry Daily Staff*, 16 février 2012, accessible à l'adresse : <http://www.defenseindustrydaily.com/T3-DARPA-Looks-for-a-Triple-Target-Terminator-06645/>.

«Triple Target Terminator (T3)», *darpa.mil*, accessible à l'adresse : [http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Triple_Target_Terminator_\(T3\).aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Triple_Target_Terminator_(T3).aspx).

«The Great Radar Race : ASEA Development in Higher Gear», *Aviationintel.com*, 27 mai 2011, accessible à l'adresse : <http://aviationintel.com/2011/05/27/the-great-radar-race-aea-development-in-high-gear/>.