

◆ MIND2SHAKE & SHARE MY SPACE

RÉFLEXIONS PROSPECTIVES ET STRATÉGIQUES SUR L'ARMÉE DE L'AIR ET DE L'ESPACE



Mind2Shake
AGITATEUR & INNOVATIONS

—●— share my space

REMERCIEMENTS

Mind2Shake et ShareMySpace s'investissent quotidiennement dans des **démarches prospectives globales**, avec un accent particulier sur les technologies aériennes et spatiales. La rédaction de cette note d'analyse est le fruit d'une ambition partagée d'explorer et de **réfléchir aux enjeux contemporains et aux défis à venir** pour l'armée de l'air et de l'espace. L'excellence du travail réalisé pour cette rédaction transcende les simples perspectives évoquées.

Nous exprimons notre gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à ces réflexions, animées par la volonté de nous propulser vers l'avant dans la direction appropriée et d'engager **une réflexion approfondie sur les solutions innovantes au bénéfice de notre armée de l'Air et de l'Espace**. La publication de cette note est un pas vers une réflexion collective sur les questions prospectives. Cette volonté se reflète dans l'ensemble des analyses menées pour cette note, coordonnées et rédigées par **Chloé Zanardi**, à qui nous adressons nos remerciements les plus sincères.

Nos remerciements s'étendent également à **Paul Sididris** et **Antony Caron** pour leur participation active aux réflexions et à la rédaction de cette note.



**Romain
Lucken**



**Anthony
Caron**



**Christophe
Delhaise**



**Karim
Mazoir**

SOMMAIRE

01

Évolution du contexte de mission de l'AEE.

Impact de conflits intenses sur l'AEE.	03
Impact de la précarisation spatiale sur l'AEE.	04
Nouvelles approches de guerre et leurs défis pour l'AEE.	04
Impacts de la guerre hybride.	06
Effervescence civile : opportunité et levier pour l'AEE.	06
De l'importance de la résilience face à l'attrition matérielle.	06

02

Prospective 08

Les innovations au service de la « guerre des étoiles ».	08
Les opérations dans l'Espace Aérien Supérieur.	08
Les technologies quantiques.	09
L'intelligence artificielle.	09
Les armes à effet dirigé.	10
Les sujets d'avenir et d'intérêt pour l'AEE.	11
Privatisation spatiale et mercenariat : rôle des acteurs privés dans la guerre spatiale à venir.	12
L'intelligence artificielle de la formation des pilotes ... jusqu'au pilotage des aéronefs ?	13
Augmentation de la surveillance aérienne (drones) et spatiale (suborbitale).	15
Impact des changements climatiques sur les missions de l'AEE.	17

EDITO

Nous sommes en train de voir se confirmer et s'intensifier les tendances identifiées en 2017 par la Revue stratégique: **Compétition accrue entre les grandes puissances**, une utilisation plus fréquente de **stratégies hybrides**, une audace croissante des **puissances régionales** et un impact significatif des **nouvelles technologies**. Le monde devient plus difficile, comme le montre la guerre en Ukraine, qui marque le retour des conflits de grande intensité en Europe.

Aujourd'hui, **notre liberté d'action dans l'espace aérien et spatial est de plus en plus remise en question**.

De nouvelles menaces militaires apparaissent, y compris près de chez nous ou contre nos forces déployées, risquant de paralyser nos opérations militaires et de diminuer notre influence stratégique. Dans ce contexte, l'espace aérien et l'espace sont essentiels pour le fonctionnement, la prospérité et la sécurité de nos sociétés. La lutte pour la supériorité dans ces domaines devient un enjeu vital pour les nations. La guerre aérienne a toujours représenté le progrès technique et la nature créatrice et destructrice de l'homme. L'utilisation de moyens militaires dans l'espace aérien et l'espace reflète les changements dans la stratégie des États. Ces dernières années, **la supériorité aérienne et spatiale occidentale est remise en question** pour plusieurs raisons, notamment le développement de nouvelles armes et la montée des menaces dans l'espace.

Face à ces changements, nous devons repenser nos armées et nos capacités. Nous avons évité de spécialiser l'armée française dans certains domaines pour maintenir notre autonomie stratégique. Mais pour défendre nos intérêts, la France doit être capable d'opérer à tous les niveaux, y compris dans l'espace. Avec le retour des conflits de haute intensité, nous devons renforcer nos capacités militaires, des plus basiques aux plus avancées. Cela nous ramène à une approche traditionnelle de la guerre, qui vise à détruire l'ennemi. Mais il convient de se demander :

- ◆ *Pouvons-nous maintenir une armée forte et résistante avec les mêmes ressources, tout en faisant face à la perte de matériel ?*
- ◆ *Devrions-nous, en observant les difficultés de la Russie en Ukraine, arrêter de chercher constamment un avantage technologique coûteux, que notre économie actuelle pourrait difficilement supporter, et plutôt viser à augmenter le nombre de nos équipements et forces ?*
- ◆ *Comment pouvons-nous gérer un grand conflit sur le long terme si nous ne sommes pas capables de supporter de grandes pertes de matériel ?*



Ces questionnements nécessitent, de prime abord, une analyse partagée sur l'adéquation de notre format à l'ambition de nos objectifs opérationnels actuels. **Ce qui induit de s'interroger à la lumière des nouveaux paradigmes (arsenalisation; hybridité; New Space) sur les missions assumées par l'AAE et les trajectoires à venir.** Sous réserve que l'arrêt de l'érosion de notre modèle soit pérennisé, il convient de redonner de l'épaisseur à certaines capacités du haut du spectre, avec le double objectif de pouvoir agir avec succès dans un environnement contesté en maîtrisant **l'attrition matérielle** et en **promouvant une organisation résiliente**. Face à l'éventualité d'une confrontation de haute intensité mêlant des forces aériennes, voire spatiales, nous nous devons de réaliser un effort prospectif et considérer ce qui pourrait se passer, notamment en termes de masse (quantité), de compétition technologique, d'attrition envisageable, de résilience, etc.

1. L'évolution du contexte dans lequel l'AAE doit remplir ses missions

Au cours des dernières années, le contexte dans lequel l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) a dû remplir ses missions a connu une évolution significative, et cette tendance devrait se poursuivre au cours des décennies à venir. La montée en puissance des technologies, les menaces émergentes et des enjeux géopolitiques complexes ont contribué à façonner un environnement en constante évolution. Force est de constater que **l'immixtion de nouvelles technologies** telles que les *drones*, *l'intelligence artificielle* et *la cybersécurité* ont considérablement modifié la manière dont les missions de l'AAE sont appréhendées et menées. De surcroît, des phénomènes, telles que le terrorisme international, l'accroissement des besoins en renseignement, le maintien de la posture nucléaire (coût pour ce segment), le changement climatique et les crises ponctuelles (opération de maintien de la paix, zone d'exclusion, assistance humanitaire), créent un nombre considérable de défis pour l'AAE.

Ces problématiques exigent une **approche transversale et multidimensionnelle, entre les différentes branches de nos forces armées et avec des acteurs civils** pour promouvoir la sécurité et la stabilité. Face à cette conception large du périmètre d'action de nos forces armées, l'AAE a dû et doit s'adapter en continu, en développant de nouvelles capacités, en faisant état de tendance crisogène, en s'informant sur les technologies émergentes, et en pensant dès aujourd'hui à des approches modernes et prospectives de défense (impliquant toutes ses dimensions - DORESE- doctrine, organisation, ressources humaines, entraînement, soutien, équipement). Les parties ci-après dressent une esquisse abordant les thèmes de haute intensité, d'arsenalisation de l'espace, de New Space et d'hybridation.

1.1 Conflictualité de haute intensité et impact sur l'AAE

Le format de nos armées est la concrétisation d'une ambitieuse politique de défense nationale, qui se traduit par des objectifs opérationnels précis et circonscrits dans le temps. Néanmoins, il faut constater que les dernières années ont montré les limites de ce modèle avec un **fort taux d'engagement** pour nos militaires. Cette demande continue a été alimentée à la fois, par un élargissement constant des missions incombant traditionnellement aux militaires (opération sentinelle, humanitaire, maintien de la paix, crises), mais également par le **nombre de théâtres d'opérations (OPEX, milieu spatial) et d'équipements déployés** ces dernières années. Par ailleurs, et il faut s'en féliciter, notre format d'armée contrairement à nombre de nos partenaires, présente l'avantage de la souveraineté et de la complétude, et ce malgré des réductions temporaires de capacités, assumées depuis plusieurs décennies. Cependant, cette réussite ne s'est faite qu'au prix d'un défaut de spécialisation et manque parfois d'épaisseur pour faire face aux sollicitations d'aujourd'hui pour les impératifs de crise. Ce défaut de massification, nous place, comme certains autres pays occidentaux, en difficulté par rapport à nos compétiteurs et envoie parfois **l'image "d'impotence"** (notamment difficulté à livrer des matériels). Comme nous le précisons, certaines encoches capacitaires résultant de l'affaiblissement des dotations à nos armées se sont combinées à un élargissement des missions, avec en tête de pont l'Armée de l'Air et de l'Espace. Cette allonge de périmètre pour l'AAE avec le segment spatial est notamment due à la criticité de ce milieu réputé Res communis (bien commun) devenu terrain de jeu pour des puissances inamicales contribuant à son arsenalisation, ainsi que l'investissement par le milieu civil pour des motifs économiques. **La guerre en Ukraine synthétise ces tendances**, qu'il s'agisse du retour de la haute intensité, de l'arsenalisation de l'espace, de l'emploi de cyber-attaque pour soutenir le champ matériel ou de l'intrication d'acteurs civils dans des affaires spatiales militaires (exemple: starlink ou les menaces russes sur l'ISS).

1.2 La précarisation de l'environnement spatial et impact sur l'AAE

«Sera maître du monde qui sera maître du ciel»

-Clément Ader dans l'aviation militaire-

C'est indéniable, **l'environnement spatial est hostile**. Il soumet les équipements à des variations extrêmes de températures et à des rayonnements ionisants, avec en supplément des risques de collision, alimentés par les lancements successifs, accidents ou destructions en orbite. Outre ces difficultés intrinsèques au milieu et à l'investissement d'un nombre grandissant d'acteurs, il faut noter les manœuvres venant d'Etats inamicaux qui contribuent à la militarisation de ce milieu. **Conformément au droit international, l'espace doit être utilisé à des fins pacifique**, bien que l'activité spatiale militaire n'est pas prohibée et permet la militarisation des orbites terrestres (à l'exception du déploiement de capacités nucléaires).

Adossé à la dégradation de l'environnement géopolitique mondiale, ce phénomène d'arsenalisation de l'espace pourrait connaître une croissance exponentielle. Sous l'œil de Thucydide, les deux puissances majeures de cette décennie que sont la Chine et les Etats-Unis sont destinées à se mesurer l'une et l'autre voire à s'affronter comme prise au piège de l'histoire. L'investissement du champ spatial est la matérialisation de cette course effrénée dans laquelle ces deux nations se sont lancées. Si la militarisation de l'espace et son inscription comme champ de rivalité sont une réalité militaire de longue date (période de la guerre froide), les armées disposent et utilisent déjà largement les capacités spatiales dans l'ensemble de leurs composantes. Désormais clef de voûte des politiques de défense et de sécurité, **les regards se tournent éminent vers le ciel.**

En ce sens, Emmanuel Macron affirmait en 2019 que « *La nouvelle doctrine spatiale militaire permettra d'assurer notre défense de l'Espace et par l'espace* » et Florence Parly, ancienne ministre des armées, d'abonder dans ce sens en comparant l'Espace à « *un nouveau front à défendre* » dans la nouvelle « *stratégie spatiale de défense* » de la France, laissant entendre que **l'espace extra-atmosphérique est un terrain de bataille à part entière**, source de tensions interétatiques ou même de conflictualités entre des acteurs privés et publics. Conformément aux appétences décrites plus haut, les Etats-Unis ont mis en place une armée spécifique à ce milieu, et la France a consacré la mutation de l'armée de l'air en armée de l'air et de l'espace (AAE). De même que les principales puissances spatiales de l'OTAN se sont, au travers de l'organisation, engagées dans les questions spatiales lorsque les ministres de la défense ont acté une nouvelle politique spatiale le 27 juin 2019 avec pour objectifs de veiller à ce que les satellites ne soient pas piratés, soumis à un brouillage ou militarisés et à ce qu'ils résistent aux armes antisatellites. Du point de vue de la Chine, la doctrine spatiale repose sur trois piliers principaux : le développement national, l'autonomisation militaire et la compétition entre grandes puissances. Depuis le début de son programme spatial, la Chine a toujours mis l'accent sur ces deux premiers piliers, mais au cours de la dernière décennie, la compétition entre grandes puissances est devenue la caractéristique principale. De fait, **l'espace est intégré dans le "rêve chinois de grande renaissance de la nation chinoise"** promu par le secrétaire général Xi Jinping. Enfin, du côté russe, l'Espace est également un domaine stratégique à part entière. La Russie se positionnerait en termes d'engins spatiaux en orbite juste derrière les États-Unis et la Chine, et sa doctrine militaire a pour objectif de **veiller «au déploiement et à l'entretien de groupes orbitaux stratégiques d'engins spatiaux russes appuyant les activités des forces armées** ». Nous le voyons donc la conflictualité dans l'Espace est largement acquise et revêt une dimension militaire, au point que les puissances spatiales envisagent désormais des attaques qui prendraient naissance dans ce champ et qui auraient pour conséquences la neutralisation d'objectifs civils ou militaires dans l'espace.

1.3 Une nouvelle manière de faire la guerre qui remettent en question les schémas classiques pour l'AAE

Impacts de la guerre hybride

Sur le champ de bataille en Ukraine, nous voyons clairement l'usage des principes de la guerre hybride. Cette guerre combine des techniques de guerre conventionnelle, asymétrique et cybernétique. Ce concept, initialement formulé par Guy Brossolet, intègre aujourd'hui des tactiques comme les raids, les embuscades, et même des stratégies navales et aériennes plus élaborées. L'utilisation civile des drones a permis la création de **forces aériennes irrégulières à faible coût**. De plus, l'accès à des technologies abordables a conduit à des stratégies spatiales de base, comme l'utilisation de téléphones satellites et de Google Earth. Nos adversaires innovent de deux manières : certains utilisent de manière opportuniste les technologies disponibles pour créer un arsenal avancé, comme l'utilisation de drones pour des frappes précises ou de messageries cryptées comme Telegram pour la communication. D'autres, comme la Turquie avec son drone Bayraktar TB2, développent des technologies avancées, suivant un processus long mais classique. L'innovation doit mélanger ces approches à court et long termes.

L'Armée de l'Air et de l'Espace doit être attentive à ces développements pour plusieurs raisons. D'une part, elle doit rivaliser avec **l'opportunisme technologique de ses ennemis**, malgré ses propres contraintes réglementaires. D'autre part, elle doit **adapter ses équipements et stratégies à une grande variété de missions et de situations**, souvent en tirant parti des innovations simples plutôt que de transformations radicales. Les développements dans l'aérien et le spatial offrent de nombreuses opportunités pour l'AAE. L'expérience acquise dans des conflits comme ceux du Haut-Karabakh et de l'Ukraine, notamment sur l'utilisation des drones, est cruciale. L'AAE vise à être au même niveau d'innovation que ses compétiteurs. Ignorer les leçons de la guerre hybride pourrait conduire à des surprises et des désavantages tactiques, comme ceux rencontrés par l'armée russe. Enfin, il existe un écart entre les progrès technologiques rapides dans le secteur civil et les moyens utilisés par les forces armées. Un exemple en est l'utilisation des satellites Starlink par l'Ukraine, qui a intégré ce service dans sa stratégie pour coordonner ses unités et localiser l'ennemi.



L'effervescence du monde civil : une opportunité et un levier pour l'AAE

D'un point de vue financier, intégrer des innovations rapides dans notre technologie offre trois avantages : améliorer nos opérations pour rester compétitifs, renforcer la confiance en notre institution militaire, et augmenter notre crédibilité stratégique. L'esprit d'innovation est déjà bien ancré dans l'Armée de l'air et de l'Espace, surtout dans les opérations de renseignement. Cette culture d'innovation doit s'étendre à d'autres domaines, en s'appuyant sur la prise de risque caractéristique des aviateurs et la créativité nécessaire pour les manœuvres tactiques, surtout dans l'aérospatial. **Les conflits futurs seront largement influencés par la capacité de notre industrie à adapter et réinventer les concepts existants.** Par exemple, le retard français et européen dans le marché des drones par rapport à d'autres pays souligne cette nécessité. Plus de 80 pays possèdent des drones militaires. Bien que ces drones soient issus du secteur de la défense, c'est le marché civil qui en est le principal moteur, offrant des performances élevées à faible coût. Il existe une relation étroite entre les secteurs civil et militaire, où les deux bénéficient des technologies duales. **Les évolutions rapides dans le domaine des drones soulèvent de nouveaux défis, notamment en matière d'autonomie, d'intelligence artificielle et de cybersécurité.** En parallèle, **le marché spatial connaît une croissance importante,** symbolisée par l'émergence du New Space et des entreprises comme SpaceX. Ces nouveaux acteurs gagnent en importance grâce au soutien financier et institutionnel, notamment européen, et participent à de grands projets spatiaux. Le New Space offre des innovations technologiques qui peuvent répondre aux besoins spécifiques des armées, comme la **collecte de renseignements et la communication militaire, de manière plus efficace et moins coûteuse.** La supériorité technologique restera un facteur clé dans les conflits futurs. Pour la maintenir, un soutien constant à notre base industrielle et technologique de défense est nécessaire, ainsi qu'une collaboration renforcée avec le secteur civil et les innovateurs. Cette approche à long terme est essentielle pour développer des systèmes de combat adaptés aux défis opérationnels des années 2035-2040.

De l'importance de la résilience face à l'attrition matérielle

Il est essentiel d'intégrer progressivement les avancées technologiques rapides, y compris celles issues du secteur civil, pour renforcer notre efficacité opérationnelle. Cette intégration doit se faire en combinant ces technologies avec nos systèmes existants. Actuellement, nos processus lents pourraient créer un désavantage face à nos adversaires, qui sont souvent plus rapides et moins limités par des normes strictes. Nous devons encourager une approche qui mélange **spécialisation et collaboration avec les acteurs français et européens de notre écosystème dynamique.** Cette nécessité de collaborer avec des innovateurs à moindre coût est d'autant plus importante avec le retour des conflits de haute intensité et l'augmentation des pertes matérielles. Dans tout conflit, la résilience – c'est-à-dire la capacité de récupérer, réparer et remplacer rapidement ce qui est perdu – devient cruciale. Cette résilience peut être renforcée par des stratégies telles que la diversification des équipements, la duplication des systèmes essentiels, la formation de personnel qualifié pour les réparations, et la mise en place de chaînes d'approvisionnement efficaces pour remplacer rapidement le matériel perdu. Les adversaires utilisant des **tactiques de guerre hybride** cherchent souvent à submerger et à infliger des pertes matérielles importantes à leur ennemi. Pour les armées conventionnelles, remplacer des pertes significatives dans un conflit prolongé sera extrêmement difficile et coûteux.

2. Prospective

2.1 Les innovations au service de la « guerre des étoiles »

Les opérations dans l'Espace Aérien Supérieur

Les opérations dans l'Espace Aérien Supérieur (EAS) sont un domaine émergent faisant l'objet de la plus grande attention. Celles-ci se déroulent dans un espace situé entre la limite de l'atmosphère utile et l'espace extra-atmosphérique et peuvent impliquer différents types de véhicules, à l'instar **des ballons, des dirigeables, des avions supersoniques et /ou hypersoniques, des véhicules suborbitaux, des rentrées de véhicules et des fusées-sondes**. Si certains d'entre eux volent dans cet espace, d'autres y transitent simplement. En conséquence de quoi, les opérations dans l'EAS présentent un nombre important de défis en matière de réglementation, de sécurité, de gestion du trafic aérien et d'impact sur l'environnement. Les développements industriels récents en Europe, ainsi que les démonstrations opérationnelles dans d'autres pays, indiquent que ces opérations pourraient croître davantage à l'avenir, attirant de nouveaux utilisateurs de l'espace aérien.

L'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) doit d'ores-et-déjà prendre en compte ces évolutions annonçant **l'utilisation croissante de véhicules aériens sans pilote, de véhicules de mobilité aérienne avancée pour les missions de surveillance, de reconnaissance ou de frappe**.

Ces derniers revêtiront pour vertus militaire : une endurance accrue, une flexibilité accrue et un risque réduit pour les pilotes.



En outre, les opérations dans l'EAS soulèvent également des **enjeux de souveraineté et de sécurité conséquents, et les réglementations (sécurité et protection de l'environnement) doivent être adaptées**.

Des initiatives telles que le projet European Concept of Higher Airspace Operations (ECHO) et les travaux de l'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (EASA) contribuent à identifier les lacunes réglementaires potentielles et à proposer des solutions.

Les opérations dans l'EAS représentent un domaine en évolution rapide, des défis complexes, mais avec de réelles opportunités économiques. L'AAE doit suivre ces développements et anticiper les nouvelles exigences en matière de sécurité et de réglementation pour s'adapter à ce nouvel environnement opérationnel.

A l'orée de la deuxième ère quantique, les avancées technologiques dans ce domaine, en particulier pour ce qui a trait au calcul quantique, pourraient avoir un impact considérable sur l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) à divers niveaux. Outre les intérêts liés au calcul qui représente finalement l'aspect le plus classique de l'approche quantique, **plusieurs domaines sont susceptibles de bénéficier du potentiel quantique (communication, cryptographie, IA etc.)**. Nos communications sont déjà largement exposées aux appétits de puissances hostiles qui s'évertuent à collecter des informations cryptées aux fins de les déchiffrer plus tard par le levier quantique (Christopher Burgess).



Il apparaît que le principal attrait des technologies quantiques réside dans sa combinaison avec d'autres technologies disruptives. Nous pouvons aisément imaginer des scénarios où les ordinateurs quantiques permettraient d'effectuer des simulations et des modélisations de systèmes complexes propre à l'AAE. Plus largement, cela pourrait permettre de **simuler des scénarios de vol, d'optimiser les trajectoires des aéronefs, d'améliorer la prévision météorologique, orchestrer des constellations ou de simuler des interactions complexes entre des satellites et des objets spatiaux**. En ce sens, les systèmes de navigation basés des systèmes technologiques quantiques pourraient offrir une précision et une résistance accrues aux perturbations extérieures. Tout comme **les horloges atomiques quantiques pourraient fournir des signaux de synchronisation plus précis qui amélioreraient considérablement la navigation des aéronefs et des satellites dans des environnements complexes** (voire hostiles). Optimiser l'utilisation des ressources de l'AAE, telles que la gestion de la flotte d'aéronefs, la planification des missions ou la logistique par le biais de l'optimisation quantique permettrait de trouver rapidement des **solutions les plus efficaces en termes de consommation de carburant, de temps de vol ou de distribution des ressources**. Toutefois, il est important de noter que les technologies quantiques en sont encore à un stade précoce de développement et sont confrontées à de nombreux défis techniques. Il faudra du temps pour que ces technologies atteignent une maturité opérationnelle suffisante pour généraliser leur recours. Néanmoins, au regard des enjeux et malgré l'état de l'art, il est essentiel que l'AAE suive de près et explore activement les avancées dans ce domaine afin de se préparer aux opportunités et aux défis que les technologies quantiques pourraient présenter à l'avenir.

L'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) a le potentiel de transformer radicalement l'art de la guerre, notamment dans les forces aériennes et spatiales. Elle est déjà utilisée par certaines armées et présente des avantages, des risques et des défis. En matière d'aviation et d'espace, l'IA pourrait augmenter considérablement la puissance des forces armées en **améliorant la clairvoyance, l'ubiquité, la permanence, la rapidité et la précision**.

Un des avantages de l'IA est son intégration dans les capteurs des systèmes d'armes pour **améliorer la détection et l'identification des cibles**. Par exemple, le Rafale F4 utilisera des algorithmes d'Automatic Target Detection/Recognition. L'IA travaille aussi à **améliorer l'interprétation des images capturées par des drones de surveillance**. Un enjeu majeur est la gestion efficace du flux croissant de données dans les structures de commandement et de contrôle des opérations aériennes. L'IA facilite la gestion des tâches courantes, la création de bases de données dynamiques et l'optimisation des interfaces homme-machine. Elle aide également dans la conception et la conduite de manœuvres, en proposant des actions adaptées et en accélérant le cycle décisionnel. Le **concept du "Combat Cloud"**, développé par le général Deptula, **utilise des plateformes comme capteurs et relais pour un réseau de communication interconnecté**. Ce concept est intégré dans le projet JADC2 du Pentagone et est considéré comme un outil de puissance à part entière. L'IA offre aussi la perspective d'un combat aérien collaboratif connecté et d'un assistant cognitif virtuel. La mise en réseau des systèmes d'armes aériens permet de développer des modes de combat collaboratifs. L'IA joue un rôle clé en assistant le pilotage de systèmes de plus en plus complexes. L'IA est également cruciale dans la formation des forces de l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) dans toutes les fonctions opérationnelles. Cependant, elle pose aussi de nouvelles menaces, nécessitant des mécanismes de protection contre les IA étrangères. Les armées doivent être prêtes à contrer une IA stratégique supérieure et être plus rapides au combat. L'IA est essentielle face à des menaces hypervéloces qui nécessitent des systèmes de défense automatisés et réactifs. L'AAE doit se préparer à répondre à des attaques massives et autonomes, tant dans le cyberspace que par des mini-drones ou des missiles de croisière. Les essaims de mini-drones hostiles représentent un défi spécifique pour les systèmes de défense.

Les armes à effet dirigé

Durant des siècles, la guerre a été menée avec des armes dont les typologies sont restées sensiblement les mêmes, des armes blanches aux explosifs. Néanmoins, notre époque est marquée par des projets d'armement émergents, basés sur des technologies disruptives qui modifient fondamentalement la nature des effets et leur utilisation militaire. Ces nouvelles armes, appelées "armes à effet dirigé", pourraient **inaugurer une révolution dans l'art de la guerre des étoiles et introduire de nouvelles méthodes d'engagement de l'ennemi**.



De surcroît, elles pourraient être des compléments aux capacités militaires existantes ou même finir par subroger les armements actuels, en particulier dans un contexte de haute intensité. Figurent parmi ces armes à effet dirigé aux effets délétères sur les systèmes actuels : **les armes à rayonnement, les armes laser, les armes à micro-ondes et les armes à impulsion électromagnétique**. Les armes à impulsion électromagnétique ont la capacité stratégique de perturber, voire de neutraliser le fonctionnement des systèmes d'armement et de défense les plus sophistiqués, y compris les avions et les satellites ou dans le cadre de missions potentielles liées au nucléaire.

Ainsi, même des avions de mission nucléaire tels que le Rafale ou le SCAF pourraient voir leurs capacités compromises en raison de leur vulnérabilité face à ces armes électromagnétiques. Dans un même temps, **l'appropriation de ces technologies permettrait la destruction rapide de missiles, de drones ou d'autres menaces aériennes ennemies en vol**. Elles pourraient, de fait, constituer une ligne de défense additionnelle pour protéger les installations militaires, les avions et les satellites. En résumé, les armes à effet dirigé représentent tout à la fois, une menace et une opportunité pour les capacités défensives de l'Armée de l'Air et de l'Espace. Leur introduction ainsi que l'exploitation de leur plein potentiel nécessiteraient des ajustements en termes de formation, de tactiques et de capacités pour relever les défis évolutifs liés à leur utilisation.

2.2 Les sujets d'avenir et d'intérêt pour l'AAE

Nous l'indiquions précédemment, l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE) devra dans les prochaines décennies, faire face à un environnement en constante évolution, où des défis majeurs (autres que ceux évoqués précédemment) tels que le réchauffement climatique, les évolutions sociétales et les mutations de nos modèles économiques et industriels joueront un rôle essentiel. Il convient de comprendre et appréhender ces défis pour développer une vision véritablement globale du cadre dans lequel l'AAE sera amené à évoluer. Outre le défi pour l'existence humaine, le réchauffement climatique présente plus prosaïquement un défi majeur pour les opérations aériennes et spatiales.

- Par le truchement de changements climatiques affectant les conditions météorologiques, les ressources naturelles et les infrastructures, la planification et l'exécution de mission s'en trouveront considérablement impactés. L'AAE devra développer des stratégies d'adaptation, de mitigation pour minimiser les effets sur son cadre d'évolution et maintenir sa capacité à opérer.
- Ensuite, les évolutions sociétales, au rang desquelles figurent les changements démographiques (tensions dans les filières de recrutement), les progrès technologiques (besoin de profils hautement qualifiés), et les attentes croissantes de la société en matière de transparence (comptabilité des décisions), de périmètre d'intervention (appareil militaire dévoyé de sa finalité première), et de responsabilité écologique (limiter au maximum les nuisances à l'environnement), auront également un impact sur le fonctionnement de l'AAE. Les avancées technologiques rapides et les attentes changeantes du public (éventuellement instrumentalisées par des puissances inamicales) nécessiteront une vision prospective complète, ainsi qu'une capacité constante à internaliser les exigences croissantes de la société.
- Par ailleurs, les mutations des modèles économiques et industriels auront des conséquences sur les ressources disponibles (retour des périodes de disettes budgétaires) et les partenariats internationaux de l'AAE (nécessité de systèmes interopérables). L'ensemble de ces défis font finalement état des grandes attentes envers l'Armée de l'Air et de l'Espace ainsi que l'ambition française de maintenir son rang à l'avant-garde des défis d'avenir.

Privatisation de l'espace et mercenariat : quelles implications des acteurs privés dans la guerre des étoiles de demain ?

Selon plusieurs institutions financières américaines de renom telles que la Bank of America et Morgan Stanley, l'économie spatiale mondiale est estimée à dépasser les mille milliards de dollars d'ici 2040. En 2021, cette économie a atteint un niveau record de 469 milliards de dollars, avec un taux de croissance avoisinant les 10%, selon une étude réalisée par la Space Foundation. Si le rythme des lancements spatiaux suit la tendance de croissance économique de l'industrie spatiale, il est prévisible de constater une augmentation rapide du nombre de lancements annuels chaque année. Une différence marquante entre l'époque de la course à l'espace et celle d'aujourd'hui réside dans l'émergence d'organisations et d'entreprises privées qui ont réussi, ou sont en train de réussir, à se positionner sur le marché spatial. L'exemple le plus emblématique est celui de SpaceX, fondée en 2002 par Elon Musk, qui est devenue l'un des acteurs majeurs de l'industrie spatiale mondiale en remettant en question des normes établies depuis des décennies et en redéfinissant les règles du jeu.

Le commencement du New Space marque l'avènement d'une nouvelle ère dans le domaine de l'activité spatiale. Initialement, cette activité était largement dominée par des initiatives intergouvernementales ou intra gouvernementales, mais au fil des décennies, elle a évolué pour se transformer en un modèle de plus en plus axé sur les relations commerciales entre entreprises (B2B - Business-to-Business), pour finalement se développer en une activité orientée vers les consommateurs (B2C - Business-to-Consumer). Un exemple significatif de cette évolution s'est récemment produit lors du conflit en Ukraine, où SpaceX a fourni du matériel aux Ukrainiens pour leur permettre d'accéder au service Starlink. Bien que cette fourniture de matériel ait été réalisée à la demande du gouvernement ukrainien, les bénéficiaires finaux sont bien les citoyens ukrainiens, avec plus de 150 000 personnes ayant désormais accès à Internet grâce à Starlink. Ces changements d'échelle tant sur le plan financier que sur celui de la cible des utilisateurs, suscitent de plus en plus d'intérêt de la part d'États et d'organisations privées, ces dernières disposant souvent de ressources financières supérieures à celles des États. Au-delà des conflits que nous observons déjà aujourd'hui, tels que l'observation de satellites militaires par des pays étrangers, les questions de cybersécurité ou les tentatives d'abordage, il est évident que ce nouvel environnement engendrera de nouvelles menaces, émanant de nouveaux acteurs bénéficiant de moyens considérables. Des start-up travaillent actuellement sur des projets tels que des stations-service spatiales et des usines spatiales, et les voyages dans l'espace seront bientôt plus accessibles pour le secteur privé que pour les États. Que ce soit par le biais de moyens matériels contrôlés depuis des stations terrestres ou par l'envoi régulier de personnel dans l'espace pour accomplir diverses tâches, le secteur privé semble déjà posséder un avantage certain par rapport aux États et, par conséquent, aux armées. Il est difficile de ne pas envisager que dans un avenir proche, même si la France a toujours exprimé son opposition, l'Armée de l'Air et de l'Espace ne soit pas contrainte, afin de préserver sa supériorité opérationnelle, de faire appel à des services fournis par des entreprises privées pour mener à bien ses opérations militaires.

L'intelligence artificielle de la formation des pilotes ... jusqu'au pilotage des aéronefs ?

L'essor des technologies d'IA au cours de ces dernières années en a fait un levier de supériorité militaire. Dans les armées de l'Air et de l'Espace, l'intégration de l'intelligence artificielle revêt une importance capitale dans le domaine de l'éducation, de la formation et de l'entraînement au sein des forces de l'Armée de l'Air et de l'Espace (AEE), couvrant tous les aspects opérationnels. Elle ouvre des perspectives remarquables, notamment en permettant une personnalisation des programmes d'apprentissage, par exemple en termes de génération des opposants virtuels représentatifs au sein des outils de simulation. Au niveau individuel, les systèmes d'intelligence artificielle ont ainsi la capacité de stimuler un apprentissage actif et interactif en adaptant les programmes d'études de chaque individu, agissant ainsi en qualité de mentor virtuel. Il devient alors possible de générer des opposants virtuels qui reproduisent fidèlement les menaces dans les diverses plateformes de simulation. À l'échelle de l'ensemble de l'Armée de l'Air, l'intelligence artificielle permet l'agrégation des données issues de la doctrine, de l'entraînement et des retours d'expérience des opérations au profit de l'évaluation des performances, permettant ainsi une identification rapide des axes d'amélioration. L'intelligence artificielle se révélera également être un vecteur d'amélioration de la coordination entre l'être humain et la machine, apportant ainsi une véritable révolution dans la façon de faire face à l'ennemi. Que ce soit en simplifiant les procédures de pilotage ou en permettant des fonctions de pilotage autonomes, l'intelligence artificielle peut garantir des gains précieux de temps sur le champ de bataille. Par le biais de l'IA, un assistant cognitif virtuel pourrait répondre de manière proactive aux sollicitations, anticiper les besoins et agir de manière autonome et coordonnée avec le dispositif. Grâce à sa capacité à traiter d'énormes volumes de données et à son insensibilité face aux sensations physiques ou aux émotions intenses, l'IA pourrait offrir à l'avenir un pilotage plus efficient et plus sécurisé. Les premières campagnes d'essais menées par Airbus dans le cadre de son programme DragonFly, lancées à partir de mi-2022, cherchent précisément à évaluer les avantages potentiels de cette technologie, ainsi que ses limites inhérentes.



Néanmoins, il convient d'explorer plus en profondeur les perspectives à venir et de se poser la question de savoir si, un jour, l'intelligence artificielle sera en mesure de remplacer l'être humain. En décembre 2022, un événement marquant a eu lieu : une intelligence artificielle a pris les commandes d'un appareil de l'armée de l'air américaine pendant une durée de 17 heures au-dessus de la Californie. Selon les dires de Lockheed Martin, il s'agissait d'une première, où une IA est intervenue dans le pilotage d'un avion de combat. Rebaptisé Vista X-62A et équipé de deux pilotes, l'appareil n'a nécessité aucune intervention manuelle de leur part tout au long du vol. Dans un communiqué diffusé le 13 février, la société spécialisée en défense, Lockheed Martin, a souligné que **jamais auparavant une IA n'avait été impliquée dans le pilotage d'un avion de combat.**

Les Américains ne sont pas les seuls à se lancer dans la course au pilotage par IA: En mars 2023, les scientifiques hongkongais du Centre de recherche et de développement en aérodynamique (institut affilié à l'armée Chinoise) ont orchestré un duel aérien dans des conditions réelles opposant deux drones en forme d'aéronefs à voilure fixe : l'un commandé par une intelligence artificielle (IA) et l'autre télécommandé par un pilote humain depuis le sol. L'expérience s'est conclue rapidement par la victoire de l'IA. Voici la description du combat: "Une fois le combat déclenché, l'homme a été le premier à entreprendre une manœuvre pour prendre le dessus. Cependant, l'IA, semblant anticiper ses intentions, a contre-attaqué en se plaçant juste derrière son adversaire. Le drone piloté par le pilote humain a alors plongé en piqué dans le but de tromper la machine et la mener à l'écrasement. À ce moment-là, l'IA a adopté une posture d'embuscade en attendant que son adversaire reprenne de l'altitude. Le pilote humain a tenté diverses tactiques, notamment les manœuvres de "ciseaux barriqués" (ralentissement brusque suivi d'un changement de direction), dans le but de contraindre son adversaire à le dépasser involontairement. Les chercheurs ont mis fin à la simulation après environ 90 secondes, car le pilote humain était incapable d'échapper à son adversaire contrôlé par l'IA." Cette expérience a fait l'objet d'une publication scientifique. Un rapide coup d'œil à Google Scholar nous permet par ailleurs de consulter de nombreuses publications consacrées à ce sujet, dont de nombreuses réalisées par des universitaires Chinois.

Augmentation des capacités de surveillance et contrôle aérien sur les niveaux Très Basse Altitude (drones) et la Très Haute Altitude (suborbital)

Le Commandement de la Défense Aérienne et des opérations Aérienne (CDAOA) est responsable de la veille et contrôle permanent de l'espace aérien. Pour mener à bien sa mission le CDAOA a sous son commandement le Centre National des Opérations Aériennes (CNOA) qui collecte les données transmises par ses unités tactiques les Centres de détection et de Contrôle (CDC) d'une part et les Centres Militaires de Coordination et de Contrôle (CMCC) d'autre part.



Il convient de s'interroger sur la possibilité d'intégrer la capacité de détection des nouvelles technologies type « drones » évoluant en TBA et les véhicules suborbitaux en THA sur l'ergonomie de travail des militaires en charge de la surveillance et contrôle aérien militaire. Au niveau TBA, la démocratisation des véhicules aériens sans pilote, équipés de capteurs avancés et de caméras haute résolution, de différentes tailles permet désormais de collecter des informations cruciales sur des sites protégés avec l'agilité de se soustraire aux moyens de détection classiques. En plus des capacités embarquées qui peuvent être à elles seules un risque de compromission, ils sont également de par leur nature un danger pour tous les aéronefs qu'ils sont susceptibles de croiser. La démocratisation d'accès à cette technologie tend à une densification avec comme conséquences un risque plus élevé d'incidents et une plus grande difficulté à discriminer les menaces. La seule réglementation de ces objets et de leur périmètre d'action (Line of sight / Beyond line of sight) ne saurait suffire à se prémunir d'utilisations de natures malveillante ou à but d'intelligence ennemie. En THA, l'évolution des nouveaux véhicules, dont les ballons stratosphériques et les véhicules aériens hypersoniques représentent actuellement la concrétisation d'utilisation de cette tranche d'altitude, permet désormais une portée et une couverture globale sans précédent. Les plateformes de surveillance peuvent observer de vastes étendues de territoires à l'échelle mondiale, collectant ainsi des données précieuses pour les opérations de renseignement des Etats commanditaires. Les dossiers de ciblage et la dissuasion stratégique bénéficient également de cette nouvelle manne de renseignement. Grâce à leur vitesse et à leur altitude, les plateformes suborbitales permettent également une surveillance rapide et réactive dans des zones d'intérêt prioritaire, offrant ainsi aux forces des Nations les possédant un avantage décisif en matière de détection précoce. L'augmentation des capacités de surveillance et de contrôle aérien militaire aux niveaux de très basse altitude avec discrimination drone et de très haute altitude présente des avantages significatifs pour les forces armées. Les forces militaires peuvent obtenir une vision globale et précise de l'environnement opérationnel, renforçant ainsi leur capacité à prendre des décisions éclairées et à maintenir un avantage stratégique sur le champ de bataille moderne. Cette augmentation des capacités de détection devra être soutenue par une expertise supérieure dans un domaine sensible des ressources en personnel qualifié. Le modèle sociologique est ainsi tout autant à penser que les aspects techniques et technologiques. L'adaptation de l'institution aux générations actuelles nécessite des ajustements depuis le modèle RH jusqu'au niveau micro, avec une souplesse, une attractivité et un accompagnement vers la reconversion qui devront être repensés pour supporter un pan essentiel des emplois de spécialistes du domaine de l'aérien.

Influence des transformations climatiques sur les missions de l'armée de l'air et l'espace

Les transformations climatiques en cours ont un impact significatif sur les missions de l'Armée de l'Air et de l'Espace, qui se voit confrontée à de nouveaux défis et responsabilités. Dans un horizon proche, la décarbonation, par exemple, est devenue un enjeu majeur pour nos sociétés dans leur lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et l'atténuation du changement climatique. En connaissance de cause, l'Armée de l'Air et de l'Espace doit à l'instar du secteur civil, repenser certaines de ses pratiques opérationnelles, en adoptant des technologies et des carburants plus respectueux de l'environnement.

Par ailleurs, les conflits liés à la répartition des ressources en eau sont de plus en plus préoccupants. Les tensions géopolitiques peuvent s'exacerber en raison de la raréfaction de l'eau, entraînant des combats pour son contrôle et sa gestion. L'Armée de l'Air et de l'Espace peut jouer un rôle crucial dans la surveillance des ressources en eau, en collectant des données sur les réserves et en soutenant les efforts de préservation et de distribution équitable. En outre, les transformations climatiques ont un impact sur la mobilité des populations et peuvent engendrer des flux de réfugiés importants, à titre d'illustrations certaines prévisions annoncent que plus d'1 milliard de personnes vivent actuellement dans des zones qui seront invivables à +2,7° de réchauffement climatique. L'Armée de l'Air et de l'Espace pourra être sollicitée pour contribuer à la gestion et au contrôle de ces flux, en assurant la sécurité des zones frontalières et en apportant une assistance humanitaire lorsque cela s'avèrera nécessaire. En somme, les transformations climatiques entraînent des bouleversements majeurs qui nécessitent une prise en compte et une adaptation des missions de la part de l'AEE. Ces enjeux évoqués autour de la décarbonation, de l'accès à l'eau et de la gestion des flux migratoires représentent autant de menaces vis-à-vis de sécurité, la stabilité et la résilience de la nation.





CONCLUSION

Pour conclure ce livre blanc sur les défis et les perspectives futures pour l'AEE, il convient de nous rappeler que **nous sommes indéniablement confrontés à une réalité stratégique complexe et en constante évolution**. Les constats dressés en première partie de ce document soulignent l'importance cruciale de l'adaptabilité et de l'innovation pour nos forces armées sur les sujets aériens et spatiaux.

Le retour des conflits de grande intensité en Europe, comme en témoigne la guerre en Ukraine, marque une ère où **la liberté d'action dans l'espace aérien et spatial n'est plus acquise**. Cette situation nous impose de repenser notre approche de la défense aérienne à différents niveaux :

- La France, ainsi que ses alliés, doivent **continuer à soutenir et investir dans la recherche et le développement de nouvelles technologies spatiales et aériennes, tout en réfléchissant à leurs usages militaires**. L'avantage technologique, bien que coûteux, demeure un pilier essentiel pour assurer notre sécurité et notre influence stratégique sur la scène internationale. Cela ne signifie pas pour autant que nous devons nous concentrer exclusivement sur des équipements de pointe au détriment du volume et de la capacité de résilience de nos forces. **Un équilibre doit être trouvé entre qualité et quantité, permettant une adaptabilité maximale en cas de conflit prolongé.**
- L'expérience de la Russie en Ukraine nous enseigne **l'importance de la préparation au combat dans des conditions réelles et la capacité à gérer efficacement les ressources matérielles** en temps de guerre. Il est impératif de développer des stratégies de maintenance, de logistique et de remplacement rapide du matériel perdu, afin de soutenir un effort de guerre sur le long terme.
- La défense de l'espace aérien et spatial exige **une coopération internationale renforcée**. Face à des adversaires communs qui remettent en question notre supériorité dans ces domaines, le partage des charges et des innovations technologiques entre alliés devient encore plus crucial. Cette coopération doit également s'étendre à la cybersécurité, étant donné le rôle central de l'espace numérique dans la guerre moderne.
- Enfin, il est fondamental de continuer à **développer une doctrine militaire qui intègre pleinement les dimensions aérienne et spatiale dans la planification et la conduite des opérations**. La formation de nos forces doit évoluer pour inclure des compétences adaptées aux défis émergents, tandis que le cadre juridique et éthique de l'utilisation de l'espace doit être précisé et renforcé.

En conclusion, la défense de nos intérêts nationaux et la protection de notre liberté d'action dans l'espace aérien et spatial exigent une approche multidimensionnelle, combinant innovation technologique, résilience matérielle, coopération internationale et adaptation doctrinale.

Face à un monde de plus en plus complexe et imprévisible, la flexibilité, l'anticipation et la préparation seront les clés de notre sécurité et de notre succès futurs.