

Les besoins actuels et futurs en fréquences pour les armées : un défi stratégique pour la France

Par le **Général de brigade Jérôme BORDELLÈS**

Officier général chargé des fréquences du ministère des Armées
et le **Capitaine de frégate Mickaël ULVOA**

Bureau de la gouvernance des fréquences de la Direction générale
du Numérique et des Systèmes d'Information et de Communication –
Ministère des Armées

A l'instar d'un monde en perpétuelle innovation, faisant face à des menaces s'appuyant elles aussi sur les technologies les plus récentes, les armées françaises se modernisent par l'acquisition d'équipements toujours plus performants dotés d'avancées technologiques innovantes, qui nécessitent des concepts d'emploi toujours plus intégrateurs. Préparer le futur se conjugue plus que jamais au présent, avec une difficulté de taille : concilier l'acquisition de matériels pour vingt ou trente ans, avec des technologies très évolutives sur une échelle de deux ou trois ans...

Cette modernisation a pour objectif majeur de mettre en œuvre le concept de combat collaboratif, concept qui assure à celui qui le domine la capacité de manœuvrer de façon coordonnée, en partageant non seulement l'information, mais aussi les objectifs. Son architecture repose sur une connectivité accrue, s'appuyant sur une large utilisation du spectre fréquentiel, permettant finalement un partage de situation tactique en temps réel et donc offrant une boucle décisionnelle raccourcie.

L'armée de Terre, la Marine nationale et l'armée de l'Air ont chacune désormais exprimé le besoin de nouvelles capacités militaires, aptes à agir en véritables systèmes de systèmes capables de partager en inter milieux et en synergie avec nos alliés.

Dès lors, l'emploi optimisé du spectre fréquentiel, qui porte l'essentiel des capacités liées aux systèmes d'information et de communication, mais aussi des capteurs d'information, est la solution pour disposer d'une connectivité accrue. Il permet de fournir une représentation de la situation militaire en temps réel et de disposer de moyens de détection toujours plus performants, afin de raccourcir la boucle de décision, mais induisant *a contrario* une dépendance accrue et nécessitant par conséquent une résilience encore plus grande.

Des fréquences pour une connectivité accrue...

Dans les scénarios d'emploi actuels, les équipements militaires et même les systèmes d'armes employés de manière isolée deviennent de plus en plus rares.

Au contraire, ils doivent mettre en œuvre le modèle de combat collaboratif, s'appuyant sur des plateformes coopérant entre elles par l'intermédiaire d'une connectivité renforcée, qui permettent de parvenir à un système global dont la performance dépasse la simple somme de leurs uniques performances.

Ainsi, l'un des programmes d'armement majeurs de l'armée de Terre, dénommé SCORPION, a pour objet de moderniser les capacités de combat médianes des unités de niveau régimentaire en rénovant ou en développant certains matériels, et surtout en améliorant également les échanges de commandement grâce à un nouveau système d'information.

SCORPION vise à renouveler, depuis fin 2018, les capacités du combat de contact valorisé par l'information, autrement désigné par « infovalorisé », en s'interconnectant aux équipements principaux déjà existants mais modernisés (comme le char Leclerc) et aux deux nouvelles plateformes : le *Véhicule Blindé Multi Rôle* (VBMR) GRIFFON et l'*Engin blindé de Reconnaissance et de Combat* (EBRC) JAGUAR.



Le VBMR GRIFFON
P. Segrette ©DICOD.

Ainsi, pour protéger les populations et neutraliser l'ennemi, il faut pouvoir déployer des forces mobiles et agiles, aux capacités d'observation et d'action performantes, lorsqu'il s'agit de manœuvrer dans des zones étendues ou, au contraire, dans des terrains très compartimentés voire urbains. En mettant les forces en réseau, SCORPION permet de garantir ce maillage et le partage de l'information nécessaires pour maîtriser la situation. Il apporte aussi la capacité de frapper à l'endroit et au moment voulus, avec l'intensité adaptée, l'effecteur étant celui produisant l'effet attendu, mais n'étant pas forcément celui qui capte l'information.

Ce combat infovalorisé est fondé sur le Système d'Information du Combat SCORPION (SICS), couplé à la radio de nouvelle génération CONTACT, qui succède au poste radio à évacuation de fréquences PR4G, et à la station sol satellitaire SYRACUSE IV. Cette dernière permettra de mettre à disposition des forces des capacités de communication par satellite améliorées en matière de débit, de disponibilité et de résistance aux menaces.

Le programme d'armement CONTACT offrira aux forces des radios logicielles tirant parti des bandes VHF et UHF, de manière transparente pour l'utilisateur et qui seront donc plus capacitives que la génération actuelle. Partageant un cœur radio commun, les radios tactiques terrestres, aéronautiques et navales de CONTACT offriront un débit accru, plus de sécurité et une plus grande interopérabilité. Contrairement aux réseaux cellulaires et *Private Mobile Radiocommunications*

(PMR), la radio CONTACT n'utilise pas d'infrastructure de communication figée, puisque chaque poste radio est capable de relayer automatiquement l'information au sein d'un réseau résilient et auto-adaptatif.

Couplé au système d'information SICS, le nouveau poste radio CONTACT permettra d'accélérer l'échange de données tactiques, de suivre des forces armées amies (*blue force tracking*) et d'améliorer les capacités de commandement de toutes les unités. Les réseaux de la Marine devront nécessairement être interconnectés au SICS.

Enfin, étant déjà interopérable avec les protocoles radio standardisés et fondé sur une architecture radio ouverte, CONTACT permettra également d'améliorer de façon décisive les déploiements interalliés, notamment grâce au futur standard européen *European Secured Software defined Radio* (ESSOR). Dans le cadre de cette architecture de référence ESSOR, compatible avec le standard américain *Software Communication Architecture* (SCA), une forme d'onde à haut débit de coalition a été développée pour devenir un nouveau standard. Les radios logicielles et formes d'onde développées sur ces bases permettront de répondre aux nouveaux besoins à très forte plus-value opérationnelle exprimés par les forces armées en matière de numérisation du champ de bataille, de montée en puissance des applications de type *Computerized Command, Control, Communications and Intelligence* (C4I), de besoin d'échange d'images et de vidéos...



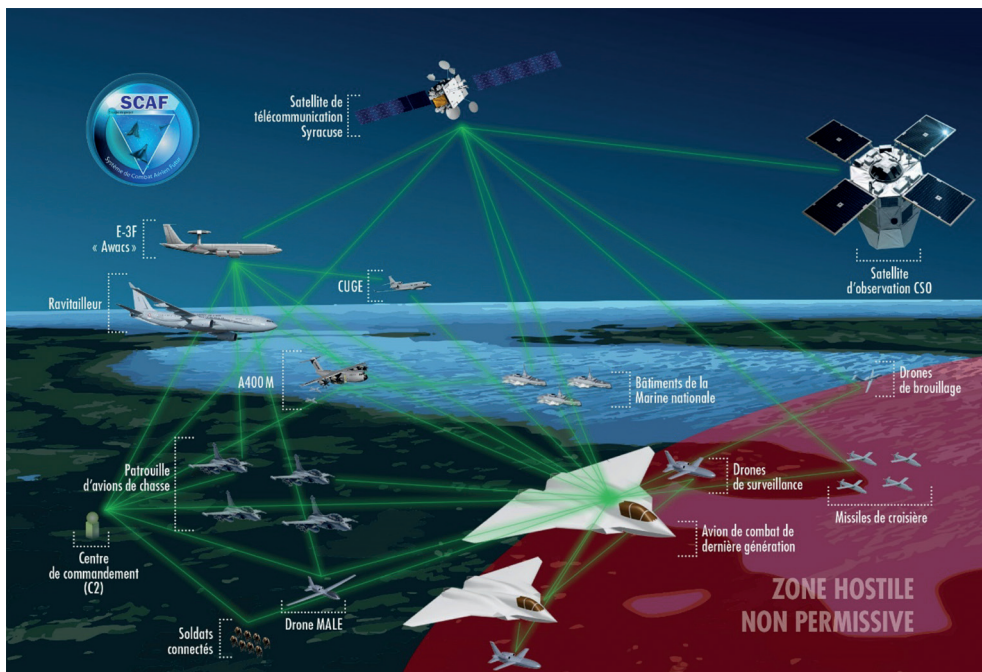
L'EBRC JAGUAR
A. Thomas-Trophime ©DICOD.

Les armées utiliseront aussi le programme de communications satellitaires *Système de radiocommunication utilisant un satellite de quatrième génération* (Syracuse IV), dont la Direction générale de l'Armement (DGA) a notifié en 2019 le contrat de conception et réalisation du segment sol, pour une livraison des premières stations en 2021.

Les communications longue distance sécurisées et résistantes au brouillage sont un maillon essentiel pour l'autonomie d'appréciation, de planification et de commandement des forces armées, entre la métropole et les théâtres d'opération, ou au sein des théâtres.

Le système Syracuse IV regroupe le segment spatial (satellites géostationnaires) et des moyens sol destinés aux utilisateurs (terminaux) et à l'opérateur des réseaux militaires (stations de raccordement aux réseaux terrestres, centres de gestion).

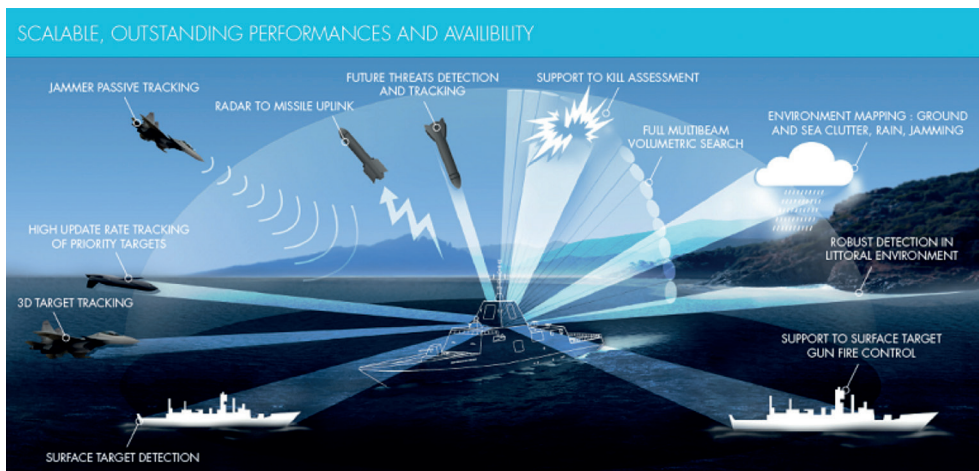
Conçus pour faire face aux menaces de type cyber, brouillage, interception et impulsion électromagnétiques, reconfigurables en vol, ils permettent une augmentation du débit disponible en bandes X et Ka. Ce programme permettra de mettre à disposition des forces des capacités de communication améliorées en matière de débit, de disponibilité et de résistance aux menaces.



Le concept d'emploi du SCAF
©SIRPA Air.

L'armée de l'Air, confrontée aux mêmes besoins de connectivité permanente, a aussi lancé une initiative pour la capacité à les employer collaborativement avec plus d'efficacité que nos adversaires potentiels : l'opération de cohérence CONNECT@AERO. Son but :

- adapter le système de combat aérien aux menaces 2025-35 et préparer le Système de Combat aérien du Futur (SCAF) de 2040 ;
- proposer une démarche capacitaire cohérente et incrémentale.



Le combat collaboratif aéronaval
©Thalès.

Pour la Marine, la fulgurance du combat aéronaval futur exige également une connectivité renouvelée des forces. Miroir des démarches SCORPION et CONNECT@AERO des milieux terrestre et aérien, la feuille de route AXON@V pose les bases d'une vision de long terme pour une connectivité aéronavale ambitieuse.

Cette trajectoire prend en compte la contestation grandissante des espaces et les menaces émergentes qui induisent une réduction des délais de réaction. Pour ce faire, le combat collaboratif exigera du très haut débit et une faible latence. Aussi faudra-t-il explorer le potentiel des constellations de satellites *Medium Earth Orbit/Low Earth Orbit* (MEO/LEO), ou encore, pour les services requérant une garantie de résilience moindre au combat, les plateformes stratosphériques (*High Altitude Platform Stations*, HAPS). Pour des débits plus faibles, la HF large bande apportera un service de *Command and control* (C2) résilient.

L'objectif est clairement de gommer les discontinuités terre-mer et la différence de connectivité entre grands bâtiments ultra-connectés et petits bateaux disposant aujourd'hui de capacités moindres.

... qui permettent de fournir une représentation de la situation en temps réel...

Dans les combats de basse comme de haute intensité, la maîtrise des espaces (y compris numérique) est un facteur-clé pour conserver liberté d'action et initiative, et donc l'ascendant sur l'adversaire.

Nous avons vu précédemment que le SICS offre une capacité de combat collaboratif en partageant de façon quasi instantanée, *via* les fréquences HF/VHF/UHF et X/Ka en *satellites de communication* (SATCOM), les données recueillies par l'ensemble des plateformes SCORPION.

Cependant, le soldat du futur s'appuiera aussi sur des robots pour la reconnaissance et la défense de son périmètre (tirs de roquettes...). Dans cette optique, le ministère des Armées a déjà expérimenté un système roulant motorisé destiné à effectuer différents types de déplacements en mobilité autonome, c'est-à-dire sans supervision d'un opérateur. Pour cela, le système met en œuvre un certain nombre de capteurs et de moyens lui permettant d'assurer ces fonctionnalités, avec des besoins spectraux tels que du contrôle/commande ou du radar véhicule en bande S et en bande W.



Le FELIN
J.-J. Chatard ©DICOD.

Bénéficiant également de la convergence des technologies militaires et civiles, la logistique soutenant le soldat s'appuiera sur une représentation temps réel des parcs, des stocks et des consommations (munitions, tenues...), grâce aux capteurs RFID (*Radio frequency identification*).

Au même titre que tous les satellites d'observation, un nouveau moyen utilisant largement le spectre fréquentiel est aussi devenu essentiel pour cette représentation de situation en temps réel : le drone. Il a l'avantage d'accomplir des missions dans des environnements difficiles, lorsque la suprématie aérienne n'est pas assurée, ou en cas de menace nucléaire, bactériologique ou chimique.

Les éléments qui caractérisent les drones sont notamment leur mission, leur autonomie, leur altitude de vol, leur rayon d'action. Les différentes missions des drones militaires français comportent la surveillance, la reconnaissance, le relais de communication, le désignateur de cible et demain l'appui feu.

Pour pouvoir s'insérer dans la circulation aérienne civile, le système doit respecter la réglementation de l'Aviation civile, qui est fondée sur les règles de la Circulation aérienne générale fixées par l'Organisation de l'Aviation civile internationale au niveau international.

Les drones utilisent des fréquences pour le télé-pilotage mais pas uniquement. Pour leur fonctionnement, les systèmes de drones nécessitent différents types de liaisons :

- celles liées à la navigation de l'aéronef, qui comprennent non seulement des liaisons nécessaires pour le télé-pilotage mais également un système d'altimétrie, un transpondeur et, potentiellement, un système d'aide à l'atterrissage et au décollage automatique, une radio pour communiquer avec le contrôle aérien et, prochainement, un système d'anticollision ;
- celles relatives à la charge utile : utilisation de radar, de capteurs de détection, de système de relais de communication...

L'accès au spectre des fréquences pour l'utilisation des drones est donc primordial et toutes les bandes peuvent être concernées.



Le SDT Patroller
P. de Poulpiquet ©DICOD.

Indépendamment des contraintes techniques, il est indispensable de garantir la fiabilité des liaisons entre le centre de contrôle et le drone dans le cadre de la sécurité des vols. L'aspect spectral est donc extrêmement prégnant, car il faut pouvoir garantir un débit suffisant, la disponibilité de la liaison, quelles que soient la portée et la résistance aux interférences.

Des études pour un futur système Moyenne Altitude et Longue Endurance (MALE) européen s'appuyant sur les bandes Ka et/ou Ku ont été menées en coopération avec l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne.

Les plateformes mobiles, nécessaires pour une représentation en temps réel de la situation tactique, sont de plus en plus petites : le projet porté par l'Agence de l'Innovation de la Défense (AID) vise à mettre au point une antenne SATCOM de 3 à 5 cm d'épaisseur, « agile, intelligente, reconfigurable électroniquement », sans être trop coûteuse. Ainsi, en recouvrant un mur de « métasurfaces », il est possible de « bloquer les ondes qui s'y réfléchissent, de les concentrer ou de les orienter dans une direction précise pour adapter leur comportement à une situation donnée ». La solution proposée consiste à contrôler un champ électromagnétique dans une petite cavité chaotique semi-ouverte. Les travaux en cours visent plus précisément à revêtir une ou plusieurs parties de la surface interne de la cavité par une méta-surface pilotée électroniquement. « Le but est de contrôler les conditions aux limites dans la cavité et de distribuer les champs dans l'ouverture de la cavité, de manière à assurer un dépointage directif vers le satellite », explique l'agence.



La maquette SCAF au Salon du Bourget 2019

J.-L. Brunet ©Armée de l'Air.

Le SCAF, quant à lui, s'appuiera sur les gammes de fréquences HF/VHF/UHF et SATCOM (Ka et/ou Ku) ; en particulier, la liaison de données inter-plateformes dite *intraflight* furtive du *Next Generation Weapon System* (NGWS) reposera probablement sur une forme d'onde en bande haute.

Ce partage de situation en temps réel nécessite également des capteurs performants.

... et des moyens de détection toujours plus performants...

Les armées s'inscrivent aussi dans une logique de modernisation continue de nos capteurs ; par exemple, la défense aérienne devrait intégrer une nouvelle génération de drones, mais aussi les nouveaux radars issus de la famille Ground Fire en bande S, tout en continuant à mettre en œuvre un large panel de radars en bandes L, C, X et Ku.

La famille Ground Fire, entièrement numérique, offre des performances inédites dans le cadre de missions de surveillance et de défense aérienne, y compris anti-missile balistique, avec une capacité à conduire les missiles de la famille Aster dans des environnements hostiles (encombrement, pluie,

brouillage, etc.). Très compacts et déployables en moins de quinze minutes, les Ground Fire seront extrêmement mobiles et aérotransportables. Ils seront constitués d'une antenne mobile montée sur un camion et auront une capacité à opérer sur n'importe quel terrain.

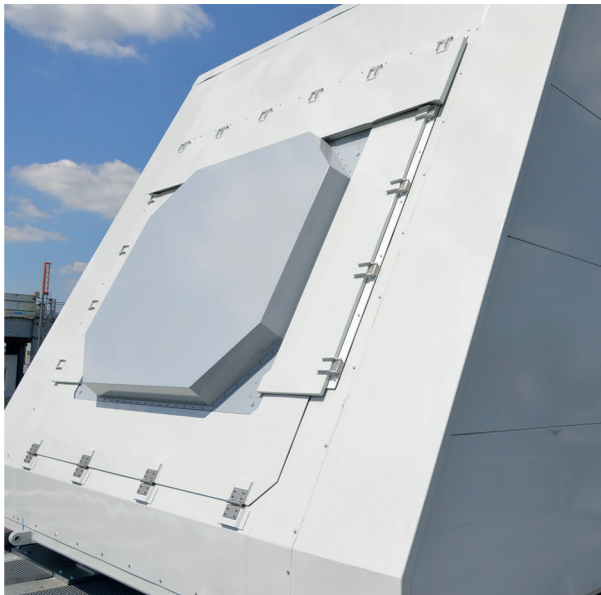
La famille du Ground Fire est identique à celle du Sea Fire, la version navale, toujours en bande S, qui équipera les Frégates de Défense et d'Intervention (FDI).

Sea Fire pourra aussi gérer la conduite de tirs de missiles si une menace se présente sur mer ou dans les airs. Ce radar n'a rien à voir avec les systèmes rotatifs trônant sur les navires de guerre de la Marine nationale. Le Sea Fire est un élément fixe installé dans le mât du navire. Sur chacun des quatre panneaux, des capteurs analysent l'environnement en 3D pour détecter tout ce qui flotte, vole ou roule.

Le Sea Fire est également conçu pour détecter et cibler les aéronefs hyper véloces.

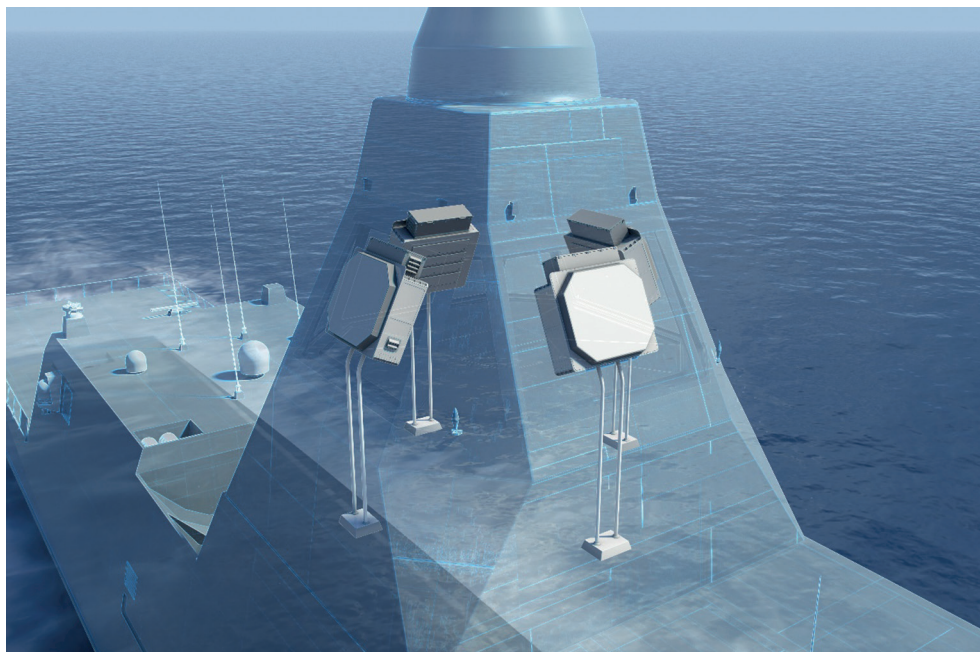
Mais surtout, ce radar est conçu pour s'adapter au fur et à mesure de l'évolution technologique des équipements militaires. C'est un « radar logiciel » dont les capacités peuvent être mises à jour sans modification du matériel.

Dans le cadre de la sauvegarde maritime et de l'action de l'Etat en mer (narcotrafic ou trafic d'êtres humains...), le projet d'armement AVSIMAR prévoit aussi des Systèmes de Drone Aérien pour la Marine (SDAM) ou tactiques, mais aussi des drones embarqués *Vertical Take-off and Landing Aircraft* (VTOL) légers sur Patrouilleurs Outre-Mer et VTOL légers/ lourds sur Patrouilleurs océaniques.



Le panneau du radar Sea Fire 500
©Thalès.

Ainsi, fort de cette capacité de détection qui fait l'objet d'efforts sensibles en matière de recherche et développement, le cycle des processus qui permettent aux chefs de décider et agir (autrement appelé boucle de décision) sera d'autant plus réduit.



Un visuel de l'installation SF500 sur frégate
©Thalès.

... afin de raccourcir la boucle de décision, sous réserve d'une résilience encore plus grande

« Les nouveaux véhicules Griffon sont capables de collecter toutes les données de leur environnement et de les transformer en information de combat, dotés d'outils d'aide à la décision face aux menaces. Ils sont à la pointe du combat collaboratif », a précisé Mme Florence Parly lors de la cérémonie de livraison des premiers exemplaires sur le site de Nexter à Satory le 4 juillet 2019.

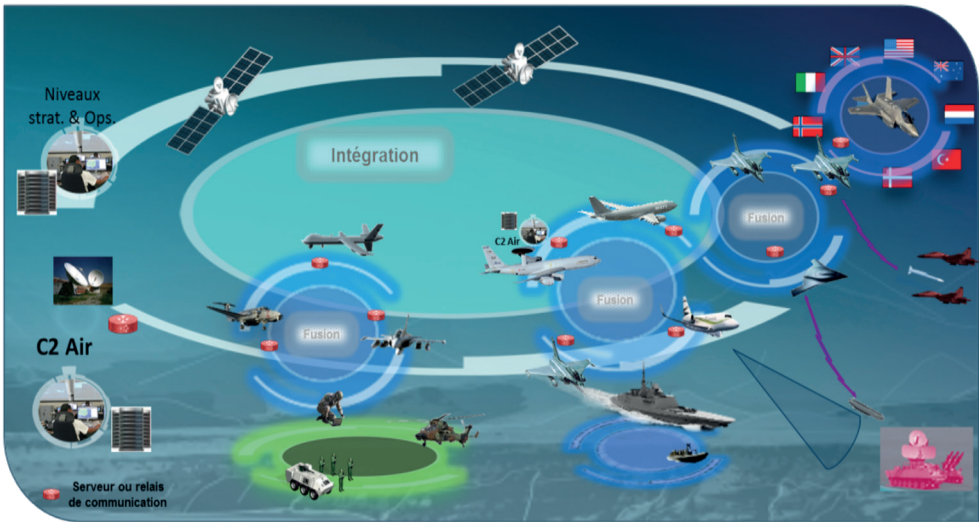
Face à la furtivité et à la montée en gamme des adversaires dans le domaine aérien, les axes principaux de raccourcissement de cette boucle décisionnelle sont :

- la détection collaborative (affinement de la *Common Operational Picture*) par répartition et orientation coordonnées des capteurs passifs, radars, optroniques ;
- l'engagement collaboratif : guidage missile par répartition et orientation coordonnées des capteurs et des effecteurs ;
- le combat collaboratif défensif et de survie (manœuvres, brouillage, leurrage, tirs).

Cette boucle décisionnelle optimisée exige :

- le décloisonnement de l'usage des capteurs et effecteurs ;
- un réseau local autonome, discret et robuste ;
- la supervision locale, en temps réel, des moyens (*Interaction Homme Système* adaptée) ;
- un haut niveau d'interopérabilité.

Le C2 centralisé et distribué permettra le partage de l'idée de manœuvre (efforts) et l'accélération de la capacité de frappe. La bulle de combat haute intensité bénéficiera de l'apport de la radio très haut débit / antennes directives et du relais drone. La bande harmonisée OTAN 225-400 MHz, très utilisée par les communications UHF et des applications aéronautiques, maritimes et satellitaires, notamment pour le contrôle de l'espace aérien, y joue un rôle majeur.



Le concept Connect@aero

Coll. Faury et Ledoux ©Bureau des plans de l'armée de l'Air.

Dans des espaces de plus en plus contestés, où se développent des menaces telles que les missiles hypervéloces, la Marine développe elle aussi une stratégie polymorphe de réduction de la boucle décisionnelle pour conserver la liberté d'action et l'initiative des forces navales à la mer. Cela suppose une rupture technologique dans la performance des senseurs, l'extension des capacités de la chaîne d'engagement missile et le *Combat collaboratif naval* (CCN) pour réduire les délais de réaction « détection, classification, engagement ».

On distingue ainsi trois temporalités différentes dans la connectivité navale ; des technologies complémentaires pourront apporter les services attendus en termes de débit / latence / résilience :

- celle du temps immédiat pour le combat collaboratif face à la menace hyper-véloc (latence très faible – très haut débit – grande résilience) :
 - Bulle *Line Of Sight* (LOS) très haut débit, antennes directives – incrément naval des programmes radios relatifs aux hautes fréquences, relais drone / avion / HAPS ;
- celle du temps réel ou semi-réel pour la conduite des opérations : C2 de la bulle aéro-maritime :
 - SATCOM avec haut débit, satellite MEO/LEO avec capacité de transmission optique vers satellite géostationnaire (GEO) ;
- celle du temps différé et du temps long :
 - Capacité SATCOM GEO plus classique avec du haut débit, mais avec une latence plus importante.

Il ne faut pas oublier pour autant la HF, qui est un formidable moyen de résilience au profit du SATCOM au même titre que la diversification du bouquet satellite : MEO ou LEO. A ce titre, la nouvelle technologie HF XL donnera accès à de la large bande sur IP (messagerie instantanée ou *chat*), malgré la saturation du spectre de fréquences, en utilisant simultanément plusieurs canaux HF disjoints, permettant ainsi d'assurer une forte disponibilité de la transmission haut débit.

La boucle décisionnelle verra donc sa durée réduite, grâce à une harmonisation des systèmes de communication, des normes d'échanges et des formes d'ondes nécessaires. Enfin, le développement d'une maîtrise dynamique et adaptative du spectre électromagnétique contribuera aussi à cette évolution.

Pourtant, le ministère des Armées, qui est l'un des affectataires à qui le Tableau national de Répartition des Bandes de Fréquences (TNRBF) attribue le plus d'usages primaires ou prioritaires de fréquences, voit ses attributions sans cesse diminuer sous les pressions des nouvelles technologies (téléphonie mobile, par exemple) et des intérêts non régaliens. L'enjeu pour les armées est de disposer du spectre en quantité et en qualité strictement suffisantes pour maintenir une cohérence entre les moyens opérationnels dévolus aux armées et les missions qui lui sont confiées.

Dans ce contexte de grande dépendance aux fréquences, les brouilleurs constituent forcément une menace tangible et permanente. L'utilisation d'un brouilleur est une action volontaire visant à neutraliser dans un secteur les systèmes utilisant des fréquences. Ainsi, un drone qui disposerait d'une connectivité 3G/4G et wifi est vulnérable sur un théâtre d'opération au titre de ces deux types de connectivité.

Pour faire face à cette menace, les armées utilisent des systèmes résilients aux brouillages (qui recourent par exemple au saut de fréquences). Par ailleurs, une évaluation de la résistance au brouillage de chaque système pendant son développement est réalisée. Enfin, les armées s'entraînent désormais sous environnement électromagnétique contesté.

Toutefois, les brouilleurs peuvent contribuer également à la protection des forces, comme c'est le cas contre les engins explosifs improvisés ou *Improvised Explosive Devices* (IED).

Une procédure de coordination existe aussi sur le territoire national, permettant l'emploi opérationnel des brouilleurs pour les besoins de la défense, notamment dans la lutte contre les drones malveillants.

En synthèse, le ministère des Armées entame clairement désormais une manœuvre délicate : disposer de systèmes d'armes futures qui soient à la fois collaboratifs, agiles et résilients, les rendant toujours plus dépendants des fréquences, malgré un spectre fréquentiel de plus en plus contraint ! Pour faire face à des besoins en largeur de bande toujours croissants, le ministère des Armées devra miser sur l'innovation pour la gestion du spectre et sur l'amélioration des performances des systèmes radios (plus efficaces spectralement).

Il est ainsi patent que la clé de la réussite réside dans la capacité du régulateur national (l'Agence nationale des Fréquences) à satisfaire au mieux le besoin en fréquences exprimé par le ministère des Armées, le spectre apparaissant ainsi comme un bien certes immatériel, mais ô combien stratégique.