

ECOLE DE GUERRE



PROMOTION *VERDUN*

2015 -2016

Quels drones pour les armées de l'air de demain ?

Lieutenant-colonel Yoann CARDOT

Sous la direction du

Docteur Joseph Henrotin

Rédacteur en chef de la revue Défense et Sécurité Internationale (DSI)

Chargé de recherche du Centre d'analyse et de prévision des risques
internationaux (CAPRI)

RESUME

La classification actuelle des drones est insatisfaisante et prête parfois à la confusion. En lieu et place des termes employés actuellement (MALE, HALE, UCAV, etc...), il faudrait utiliser deux nouvelles catégories : les drones servant à acquérir la supériorité aérienne, et les drones exploitant une situation de supériorité aérienne acquise.

Cette nouvelle classification permet en effet de progresser dans le raisonnement doctrinal et de cerner les priorités. Pour la première catégorie, il s'agit d'adapter les technologies déjà utilisées sur les avions de chasse les plus modernes, et de développer en parallèle des drones de saturation *low cost*. Pour la deuxième catégorie, il s'agit de développer un porteur européen modulaire, puis de laisser chaque pays y adapter des capteurs ou de l'armement. Dans le cas particulier de la France qui fait de son autonomie d'appréciation une priorité, il faut aussi en parallèle fournir un effort sur les technologies d'analyse automatisées de l'information.

ABSTRACT

The present classification of drone is irrelevant and confusing. Instead of using UCAV, MALE, HALE, a couple of new categories should be created: drones designed to gain the air superiority, and drones designed to take benefit of a situation of air superiority acquired.

This new classification allows some progress in the doctrinal debate, and a better establishment of priorities which should be: for the first category, to adapt the existing technologies (from most modern fighter jets), and simultaneously to develop low cost saturation drones; for the second category, to design a European modular carrier, and to let each country adapt sensors or weapons. In the typical case of France, where the autonomous situational awareness is a need, autonomous data analysis systems should also be developed.

INTRODUCTION

Les drones font partie des technologies dont le besoin est difficile à définir tout en se révélant parfaitement indispensables dès qu'utilisées. Il y a 15 ans par exemple, l'armée de l'air française avait du mal à intégrer la doctrine des drones de reconnaissance. Ils étaient perçus comme moins efficaces que les avions de chasse, en grande partie car ils ne disposaient pas de l'œil du pilote, qui était à l'époque un senseur central. Aujourd'hui, la page est tournée. Le Mirage F1-CR est retiré, et l'armée de l'air met en œuvre des MQ-9 *Reaper*.

Il n'est pas question ici de mettre en évidence un éventuel conservatisme des militaires de cette époque : les missions ont changé, et parmi elles, celles qui sont liées à la contre-insurrection se sont multipliées. Il s'agit de contribuer à fluidifier les futures évolutions doctrinales des drones.

Cette problématique est centrale compte-tenu du contexte politico-économique européen : depuis 10 ans, toutes les initiatives pour créer un drone européen ont échoué pour cause de montages industriels trop complexes ou de divergence de cahier des charges. La volonté politique récente concernant le FCAS (Futur Combat Air System) franco-britannique ou l'*Eurodrone* est un signal encourageant qu'il faut cependant accompagner. Dans ce contexte, il est plus que jamais indispensable d'avoir une vision claire des doctrines d'emploi des drones de demain ; en prenant en compte l'état de l'art de 2016, mais en ayant également une démarche prospective d'un point de vue technologique.

Ce mémoire a pour ambition de proposer une vision pour le niveau « armée de l'air » des drones de demain. Ils ne devraient pas chercher à être omni-rôles malgré le succès de ce concept pour les avions de chasse. En effet, au contraire de ce qui a été fait avec le Rafale, un seul type de drone ne pourra pas tout faire, sauf à tout mal faire, et il faudra accepter une réelle segmentation des moyens.

Dans un premier temps, il s'agira de justifier cette segmentation doctrinale par le fort clivage des enjeux. A cette fin, le découpage est proposé selon le niveau de permissivité aérienne du théâtre, et non plus selon des performances brutes des vecteurs (drones de type MALE, HALE, etc...).

Dans un deuxième temps, il sera possible d'étudier en détail la première des deux grandes nouvelles catégories de drones nouvellement définies, à savoir les drones d'acquisition et de maintien de la supériorité aérienne. Ces drones seront en vol (ou en alerte au sol) là où la supériorité aérienne n'est pas acquise.

Enfin, il faudra examiner la deuxième catégorie proposée, à savoir les drones exploitant la supériorité aérienne - c'est à dire ceux qui ne décolleront que là où la supériorité aérienne est acquise.

Partie 1 : pour une nouvelle segmentation doctrinale des drones

Les évolutions des doctrines d'emploi des drones militaires ont jusqu'à présent été des conséquences des évolutions technologiques, plutôt que l'inverse. Cette démarche *bottom-up* assumée est semblable à l'intégration des nouvelles technologies de l'information, que ce soit l'usage de l'informatique, la téléphonie sans fil, ou plus récemment les *smartphones*. Il est possible de considérer que de la même manière que les *smartphones* ont créé leur propre besoin, les *Reaper* ont créé le leur. Ceci explique peut-être une partie des hésitations qu'a eues la France à se doter de cet outil.

La naissance par le *bottom-up* explique aussi pourquoi il est difficile de répartir *a priori* la doctrine des drones entre ceux de l'armée de l'air, et ceux de l'armée de terre. Dans un cas, il s'agit d'acquiescer du renseignement et d'agir dans la profondeur ; dans l'autre il s'agit surtout de *regarder derrière la colline*. Ainsi, le récent contrat de l'armée de terre pour les *Patroller*, qui présentent des caractéristiques dépassant ce seul besoin, est de nature à brouiller les pistes.

Le parti pris de ce mémoire est de ne pas explorer ce débat (ce qui n'apporterait pas grand-chose), mais plutôt de se réjouir de l'existence d'un domaine d'emploi commun entre les drones de l'armée de terre, et ceux de l'armée de l'air. Cette caractéristique nouvelle permettra de disposer de souplesse et de subsidiarité. Pour la suite de cette étude, ne seront en revanche étudiés que les drones mis en œuvre par les armées de l'air. Les drones dits "tactiques", dont le domaine s'étend du micro-drone d'intérieur au *Patroller*, en seront donc exclus.

Quand un concept est né par le *bottom-up*, il est intéressant de reprendre, de temps en temps, le processus dans l'autre sens, et de réfléchir dans le sens *top-down*, c'est à dire de prendre comme point de départ le besoin militaire, pour en tirer des conclusions capacitaires. Cette démarche est nécessaire, d'abord car c'est le sens habituel de l'analyse en matière de programme d'armement, et ensuite car c'est indispensable à l'explication de la problématique à des non-spécialistes.

Le point de vue développé ici est que la meilleure façon d'appréhender en *top-down* la doctrine d'emploi des drones, est de ségréguer les missions par domaine de permissivité. Les drones utiles aux armées de l'air quand la supériorité aérienne n'est pas acquise sont très différents des drones utiles quand la supériorité aérienne est acquise. Le but des paragraphes suivants est de justifier une telle répartition. L'analyse détaillée de chaque catégorie de drone n'interviendra que dans les deux parties suivantes.

La furtivité radar

Le fait qu'un théâtre soit menaçant pour un aéronef est un truisme du point de vue du besoin en furtivité radar. Par définition, cette capacité ne trouve de sens que face à un adversaire que dispose de radars opérationnels et de la capacité d'intercepter des aéronefs (que cela soit grâce à des chasseurs ou grâce à des missiles sol/air). Il est inutile de disposer de drones furtifs sur des théâtres comme l'Irak ou l'Afghanistan où la seule menace vient de systèmes sol/air infrarouges portables, qui ont une faible portée en altitude.

Ceci posé, il est néanmoins intéressant de connaître les deux solutions techniques pour rendre un aéronef furtif aux radars :

- la première est de voler très bas, et très lentement, ce qui permet à l'aéronef d'être noyé dans les échos de sol. En effet, dans cette situation, un radar ne pourra ni disposer d'un écho direct à cause de la faible altitude, ni disposer d'un écho doppler à cause de la faible vitesse. Le drone est très difficilement détectable dans ces conditions, car certains systèmes radars vont les interpréter comme des véhicules terrestres ou même des vols d'oiseaux¹.
- la deuxième est de disposer d'une architecture adaptée, que cela soit par l'utilisation de matériaux absorbants, de formes dispersant les ondes, ou d'une combinaison des deux (comme sur les chasseurs américains F-22 et F-35). Cette solution élégante n'est pas exempte de défauts. Elle coûte très cher, et n'est pas forcément pérenne dans le temps : les radars ennemis adaptent leurs fréquences de fonctionnement pour retrouver une capacité de détection (il est quasiment impossible d'être furtif à toutes les gammes de fréquence à la fois²). Par ailleurs, les profils anguleux liés à la furtivité rendent les drones sous-optimaux du point de vue de l'aérodynamisme.

Ainsi, quelle que soit la solution choisie, la furtivité radar coûte très cher que ce soit en terme financier ou en terme de performances.

Un autre aspect qui est parfois négligé quand il est question de furtivité, est le fait que ce concept impose une discrétion électromagnétique totale. Il ne sert à rien d'être invisible aux radars, si d'un autre côté, le drone émet ses propres ondes (flux de données, ou des ondes radars). Ils s'exposeraient à des aéronefs comme le Rafale, qui sont capables de détecter les cibles uniquement sur la base de leurs émissions propres.

Si on considère qu'un drone ne peut pas être totalement autonome dans sa mission, il s'agit donc de mettre en place des modes de communication ultra-focalisés entre lui et l'opérateur, afin que les signaux associés ne soient pas détectables par un observateur extérieur. La technologie existe déjà (exemple de la transmission de données par laser³), mais il sera très compliqué de l'implémenter sur des mobiles (drones, avions, satellites).

Une autre solution pour préserver la furtivité des drones vis-à-vis de leurs émissions propres est d'y embarquer...un opérateur humain. Face à ce dilemme de la furtivité, le fait de rendre un drone

¹ M.L. Stone and J.R. Anderson - The Lincoln Laboratory Journal. Volume 2. Number 3 (1989) - Advances in Primary-Radar Technology - M.L. Stone and J.R. Anderson

² Konstantinos Zikidis, Alexios Skondras, Charisios Tokas (2nd Lt, HAF) - Journal of Computations & Modelling, vol.4, no.1, 2014, 129-165 - ISSN: 1792-7625 (imprimé), 1792-8850 (internet) Scienpress Ltd, 2014 - Low Observable Principles, Stealth Aircraft and Anti-Stealth Technologies,

³ International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT) ISSN:2319-7900 - Data Transmission Using Laser Light

optionnellement pilotable n'est clairement pas la solution la plus "élégante", mais c'est presque là son seul défaut⁴.

Un autre enjeu des drones furtifs est le fait qu'ils ne le sont beaucoup moins dans les gammes visibles et infrarouges. La furtivité radar est inutile au drone qui patrouille pendant plusieurs heures au-dessus du même point. Il finira par être détecté et potentiellement intercepté⁵. En effet, même les systèmes sol/air les plus anciens et les plus rustiques disposent d'un mode de suivi optique.

Ainsi, il ne sert à rien de rendre furtif un drone ISR ou ROEM qui doit rester sur zone donnée pendant longtemps et transmettre un grand flux de données en temps réel. La furtivité devrait être réservée aux drones qui évoluent dans les zones où la supériorité aérienne n'est pas acquise, et dans le but de l'obtenir.

Vitesse et endurance

En aéronautique, vitesse et endurance sont deux notions antagonistes. A masse donnée, toute amélioration d'un facteur réduira l'autre. De plus, pour des raisons aérodynamiques, il n'y a pas proportionnalité : toute augmentation de la vitesse du drone se traduira par une décroissance encore plus marquée de son endurance⁶.

Vitesse et endurance sont antagonistes également quand il s'agit de dessiner l'aile du drone. Si la vitesse recherchée est faible, l'aile devra avoir une flèche (angle entre le bord de l'aile et la perpendiculaire au plan de symétrie de l'avion) très faible, voire nulle (comme sur les planeurs, ou *Solar Impulse*). Si la vitesse recherchée est grande, la flèche devra au contraire être très marquée (comme sur les avions supersoniques)⁷. Sauf à renouveler le concept de flèche variable qui est coûteux en masse, en conception, et en maintenance (exemple du *Tornado*), il est donc indispensable, dès la conception du drone, de connaître sa vitesse cible. En d'autres termes, il n'est pas judicieux d'utiliser le même type de drone quand il s'agit d'aller vite ou d'aller lentement.

Quand il s'agit d'opérer dans un milieu où la supériorité aérienne n'est pas acquise, il est très intéressant d'aller vite, afin d'être exposé le moins longtemps possible à la menace, même si c'est au prix d'une baisse de l'endurance. En revanche, quand la supériorité aérienne est acquise (même si c'est de façon locale, ou non définitive), il est intéressant de rester longtemps sur zone, afin de multiplier les opportunités de détecter l'ennemi ou d'agir contre lui (par exemple en *close air support*), même si c'est au prix d'une baisse de vitesse. Il est par ailleurs à noter qu'une faible

⁴ Retour vers le futur ? De l'adaptation des drones MALE aux opérations de demain - Joseph Henrotin - Revue DSI n°95 - Septembre 2013 (<http://www.dsi-presse.com/?p=6890>)

⁵ Jonathan Greenert - US Navy Ops Commander : "if something moves fast through the air, disrupts molecules and puts out heat . . . it's going to be detectable."

⁶ FAA - Pilot Handbook - Chapitre 10 (performances)

⁷ Cours de mécanique du vol du Brevet d'Initiation à l'Aéronautique (BIA)

vitesse permet également une meilleure résolution en matière d'imagerie, car le défilement de l'image est un paramètre déstabilisant⁸.

Pour toutes ces raisons, créer un drone qui couvrirait l'ensemble du domaine vitesse/endurance le placerait dans des conditions sous-optimales quel que soit le cas. Il faut envisager des drones qui vont vite, tout en étant moyennement endurants, afin d'opérer dans les zones où la supériorité aérienne n'est pas acquise, et il faut envisager d'autres drones volant longtemps, mais lentement, dans les zones où la supériorité aérienne est acquise.

L'armement des drones

Le débat sur l'armement des drones est pour l'instant largement dominé par son aspect éthique, angle qui concentre une forte proportion de la littérature actuelle. Ce débat est intéressant, et ses conclusions partielles doivent être mises en œuvre, notamment sur la préservation d'un niveau d'implication émotionnel suffisant des opérateurs de drones. Cependant, ce mémoire prend le parti de ne pas ajouter au débat éthique, pour deux raisons. La première est que l'issue la plus probable est connue : en 1139, le concile de Latran II avait interdit l'usage de l'arbalète car elle était jugée immorale, mais cela n'a pas empêché l'histoire d'accepter cet armement. Certes, une comparaison de cet ordre ne saurait être une démonstration, mais certains pays arment déjà les drones sans opposition majeure, et finalement le fait que l'aéronef bombardier soit piloté depuis le sol plutôt que par un pilote isolé donne des garanties supplémentaires en matière de maîtrise de la force : le facteur stress est réduit ce qui limite les décisions hâtives, et il est possible d'impliquer plus de monde dans la décision, y compris des conseillers juridiques, car la place en cabine n'est plus un problème. La deuxième raison est qu'une réflexion libérée du tabou éthique permet de connaître l'horizon d'évolution des drones, ce qui permet d'alimenter le débat, y compris au profit des « *anti* ».

Quand un drone est armé, cela répond à deux problématiques différentes selon qu'il s'agisse d'acquérir la supériorité aérienne ou de l'exploiter.

Dans le premier cas il faut, pour commencer, être en mesure d'intercepter les menaces volantes par des tirs air/air, ce qui crée des besoins spécifiques (capacité de détecter, d'identifier, de partager la situation, radar, OSF, Liaison 16). La supériorité aérienne s'obtient également en délivrant de l'armement en surface. Nous pensons immédiatement aux missiles SEAD, mais ils ne sont pas les seuls (missile de croisière, antinavire). Le point commun de tous ces armements est qu'ils sont très puissants, et technologiquement très évolués. Ils valent également très cher. Quand il s'agit de détruire une frégate anti-aérienne ou un système sol/air très menaçant, on ne regarde pas à la dépense. En contrepartie, ces armements sont utilisés pendant une phase très courte de la campagne aérienne, et donc en nombre plutôt limité.

Dans l'autre cas, quand il s'agit d'exploiter la supériorité aérienne, la phase peut être très longue (plus de 10 ans en Afghanistan par exemple), et le nombre de munitions utilisées potentiellement très important. En contrepartie, les munitions utilisées peuvent être beaucoup plus rustiques, dans

⁸ Gabriel Gosselin - Photo-interprétation et télédétection - Edition de l'université de Montréal.

la mesure où le drone n'a pas besoin de tirer à grande distance. Le drone peut illuminer les cibles et/ou en extraire des coordonnées de façon très précise. Afin de limiter les dommages collatéraux, il est en revanche important de disposer d'un large panel de puissances d'armement.

Les capteurs des drones.

Encore une fois, les capteurs nécessaires à l'acquisition de la supériorité aérienne sont très différents de ceux qui seront utiles une fois la supériorité aérienne acquise.

Pour les menaces sol/air mobiles, le moyen le plus efficace est de les détecter sur la base de leurs émissions électromagnétiques, puis de les localiser précisément, de façon optique. Les capteurs nécessaires pour cette mission sont un capteur ROEM (type pod ASTAC), qui détectera les menaces actives, associé à une imagerie optique ou IR grande focale (puisque'il faut identifier la menace sans s'exposer à elle). La phase de détection peut éventuellement être réalisée par des radars GMTI⁹, capables de localiser des mobiles de surface (char d'assaut, camion, ...) avec une grande précision, en gardant à l'esprit que les systèmes sol/air sont le plus souvent immobiles quand ils émettent (donc immobiles quand dangereux).

Dans tous les cas, un premier « tri » de détection devrait être fait à bord du drone, pour ne transmettre au sol qu'un nombre de pistes traitables par des êtres humains (se référer au paragraphe sur les transmissions de données dans la partie 3).

Pour les menaces air/air, le moyen le plus efficace pour la détection est la fusion des capteurs (confirmée ou non de façon optique, selon les règles d'engagement). Chaque capteur extérieur au drone (AWACS, avion de chasse) aura ses avantages et ses inconvénients, idéalement complémentaires entre eux ; on les écartera pour rendre la détection plus précise, et rendre le brouillage et la furtivité très difficiles à mettre en œuvre chez l'adversaire.

Mettre un radar sur le drone en lui-même n'est pas forcément obligatoire s'il appartient à un réseau (type liaison 16). En revanche, il peut être très intéressant de le doter d'une capacité d'imagerie grande focale vers l'avant (type OSF) pour aller identifier une menace.

De façon très différente, les capteurs optiques que l'on positionnera sur un drone qui exploite une situation de supériorité aérienne déjà acquise, devront se diriger vers le bas, et disposer d'une courte focale afin de couvrir une zone plus large. Pour l'instant, les drones ne sont majoritairement équipés que d'une grande focale afin d'être plus précis, mais les progrès en terme de résolution de capteur permettront dans un délai court d'être précis sur une grande zone (voir le détail de l'argumentaire dans la troisième partie).

Autre capacité utile quand la supériorité aérienne est possédée: le monitoring de réseaux mobiles de type GSM, qui permet, avec une précision très satisfaisante, de localiser des adversaires sur la base de leur numéro de téléphone.

⁹ Ground Moving Target Indicator, Radar qui détecte les cibles au sol quand elles bougent, sur la base de leur écho doppler.

Quand la supériorité aérienne est présumée acquise, il reste néanmoins important de savoir détecter une éventuelle résurgence de la menace. En effet, l'ennemi peut avoir dissimulé des systèmes sol/air pendant les premières phases, ou les infiltrer ultérieurement. Face à ce risque, la meilleure solution est de maintenir une permanence AWACS (idéal car détectant à la fois les menaces sol/air air/air) pendant la durée des opérations de ce type de drone. La possibilité de les doter individuellement de systèmes de détection sommaires (comme sur les avions de transport tactiques) est également une autre option.

Dans tous les cas, nous constatons que les capteurs seront très différents selon que l'on a acquis la supériorité aérienne ou non.

Emploi et maintenance.

Pour les drones nécessaires à l'acquisition de la supériorité aérienne, l'enjeu est de pouvoir monter en puissance très rapidement. Il faut pouvoir en mettre un grand nombre en alerte (au sol) pendant les postures défensives, et être capable de monter des gros raids dès que la priorité passe à l'offensive. Cela implique un bon niveau de fiabilité de conception (zéro défaut) et une maintenance surtout préventive. En contrepartie, les temps de vol étant plus courts, tout comme la campagne aérienne associée, le pas de maintenance (entre deux visites techniques) pourra être relativement court.

A l'inverse, les drones qui bénéficieront de la supériorité aérienne acquise devront assurer une permanence au-dessus du théâtre pendant de très longues durées. Pour cette raison, le pas de maintenance devra être le plus long possible, ce qui implique une conception plus rustique, une maintenance surtout curative, et des mesures de réduction du risque associés (on favorisera la redondance plutôt que l'excellence).

Ainsi, les problématiques de maintenance sont très différentes, selon que l'on considère un drone qui acquerra la supériorité aérienne, ou un drone qui l'exploitera.

Un drone omni-rôle comme le Rafale ?

On pourra objecter qu'une partie des critères discriminants évoqués pour les drones s'appliquent également aux avions. Or, le concept d'avion omni-rôle, dont le Rafale est le meilleur représentant, est une très grande réussite. On pourrait en conclure qu'il suffit de transposer le concept aux futures générations de drones. Ce serait néanmoins une erreur. En effet, il a fallu faire quelques sacrifices pour que le Rafale soit un succès et ces sacrifices sont difficilement transposables aux drones :

- utilisation généralisée du ravitaillement en vol,
- forte autonomie décisionnelle du pilote, niveau où se fait la fusion des capteurs,
- limitation des vols au seuil physiologique du pilote (+8 heures)
- une acceptation occasionnelle du coût financier et organique (difficulté à s'entraîner en métropole) qu'il y a à faire voler cet aéronef de très haute technologie pour des missions sous-dimensionnées.

Conclusion de la première partie

A la lumière de ces considérations, il est donc souhaitable de segmenter les doctrines d'emploi des drones entre l'acquisition et le maintien de la supériorité aérienne, et l'utilisation d'une situation où la supériorité aérienne est acquise.

Partie 2 : quels drones pour acquérir la supériorité aérienne?

L'acquisition et le maintien de la supériorité aérienne est plus que jamais un enjeu primordial des opérations militaires, et ce pour deux raisons : la première est qu'il n'est pas socialement acceptable d'envoyer des troupes au sol, si elles courent le risque de se faire bombarder. La deuxième est que l'absence de maîtrise du ciel empêche l'utilisation des modes d'action les plus modernes et efficaces (aéromobilité, appui aérien, renseignement aéroporté, etc...).

L'enjeu des nouveaux systèmes de défense sol/air

La conquête de la supériorité aérienne a, depuis la Première Guerre mondiale, toujours été un jeu du glaive et du bouclier, l'avantage allant, selon les progrès technologiques, soit vers l'aéronef, soit vers le système de défense sol/air.

Pour les prochaines années, il est vraisemblable que l'avantage aille aux systèmes sol/air. Il y a deux raisons à cela :

- la première est que les possibilités de mise en réseau permises par les nouvelles technologies n'en sont qu'à leur balbutiement. Dans quelques années, les territoires pourront être quadrillés de multiples capteurs mis en réseau via internet (avec chiffrement), la plupart étant passifs donc indétectables. Certains pourraient coûter peu cher (capteurs optiques).
- la deuxième est plus empirique : les systèmes sol/air de dernière génération, comme le S-400 russe, ont la réputation d'être quasiment invulnérable aux aéronefs actuels¹⁰ (même si aucunes données fiables ne permettent de le confirmer).

Les systèmes de défense sol/air ont pour principale force d'être très difficiles à détecter, tout d'abord car ils sont suffisamment mobiles pour ne pas pouvoir être localisés par satellite (entre la passe du satellite, le traitement des données, et le traitement par missile de croisière, il peut avoir bougé). De plus, il n'est ni systématique, ni pérenne, de pouvoir les localiser par leurs émissions électromagnétiques, car leurs systèmes de détection et de conduite de tir ont tendance à être déportés, voire à devenir complètement passifs (conduite optique, détection par réflexion électromagnétique indirecte, gué à vue, radars civils primaire, etc...).

En revanche, ils présentent des faiblesses structurelles. Une d'entre elle est le coût très élevé des munitions¹¹, qui s'apparente de plus en plus à des fusées exo-atmosphériques. Cet état de fait rend les systèmes sol/air vulnérables aux guerres d'attrition par saturation, ce qui est véritablement un concept à explorer pour l'avenir des drones : on pressent qu'il sera très bientôt possible de construire des drones qui coûtent beaucoup moins cher que les missiles qui les intercepteraient.

Une autre faiblesse des systèmes sol/air vient de la complexité qu'il y a à intercepter un aéronef à très basse altitude. Qu'il soit guidé par radar, ou par optique/IR, la cible peut être noyée avec l'écho de sol, ou avec l'image du sol. C'est d'autant plus vrai que la cible arrivera à rester lente (écho doppler), et froide (verrouillage par infrarouge).

¹⁰ <http://foxtrotalpha.jalopnik.com/heres-russias-s-400-missile-system-in-action-and-heres-1746490022>

¹¹ <https://russiandefpolicy.wordpress.com/2014/11/29/whats-it-cost-addendum/>

Des drones "LOW COST" de saturation/destruction?

Ainsi, il peut être très utile d'étudier une stratégie de rupture vis à vis des défenses aériennes. Un des axes qui semble pertinent est de saturer les défenses ennemies à l'aide de drones "suicides". Chargés d'une bombe, ils se dirigeraient très lentement, idéalement de nuit, vers des systèmes de défense sol/air. Soit ils seraient interceptés par le système, et ils causeraient une attrition financière importante (un missile) ; soit ils ne seraient pas interceptés, et ils atteindraient leur cible pour la détruire.

La pertinence du concept repose sur ces deux données :

- les systèmes de détection sont moins efficaces vis à vis des mobiles petits, lents, bas, et froids,
- les drones petits, lents, bas, et froids sont aussi les moins chers à fabriquer.

Développés à partir d'une page blanche, ces drones auraient des coûts de développement comparables à d'autres programmes aéronautiques. En revanche, le coût marginal d'un drone (c'est à dire le coût pour produire une unité une fois tous les frais fixes déduits) pourrait être très faible. Sous réserve d'avoir une communication efficace pour contrer le risque médiatique lié à un tel déséquilibre entre les frais fixes et les frais variables (la bombe A2SM avait subi en son temps des attaques de mauvaise foi sur ce point¹²), le concept peut être rentable.

Mais le plus rentable resterait tout de même d'adapter des avions légers existants sur étagère. Tout d'abord, le coût de développement serait réduit à l'adaptation d'une télécommande/liaison vidéo, ainsi qu'à l'adaptation d'un corps de bombe. L'avion en lui-même coûterait très peu. On trouve des aéronefs capables de transporter un homme qui coûtent moins de 40k€³.

Poussé à l'extrême, cette idée pourrait aller jusqu'à l'utilisation d'une aile souple en toile, comme sur les parapentes et les para-moteurs, ce qui réduirait encore le prix et la surface équivalente radar de l'ensemble. Cette solution est d'ailleurs déjà étudiée dans le cadre de l'aéromobilité des forces spéciales¹⁴, et pourrait avantageusement être transposée au concept de drone de saturation/destruction.

Le principal écueil de ces drones est leur image. Exploiter la saturation et le différentiel de coût est pour l'instant réservé aux organisations terroristes (par exemple le Hamas et le Hezbollah¹⁵). Par ailleurs, une des missions des armées est de rassurer la population, par une image de forte avance technologique. Placer des bombes sous des parapentes, ou dans des avions d'aéro-club, ne permet pas de jouer sur ce registre.

¹² <http://secretdefense.blogs.liberation.fr/2010/08/27/une-bombe-francaise-a-360000-euros-piece/>

¹³ Par exemple les avions du constructeur français ptitavion (<http://www.ptitavion.com/>)

¹⁴ Par exemple le Pegase du constructeur Vaylon (<http://www.nytimes.com/2014/08/24/automobiles/vaylon-pegase.html>)

¹⁵ <http://tempsreel.nouvelobs.com/monde/20140709.OBS3152/comment-fonctionne-iron-dome-le-systeme-antimissile-israelien.html>

Si ces arguments sont parfaitement recevables, il ne faut pas pour autant balayer l'idée de drones de saturation d'un revers de main :

- ils constituent dans le moyen terme une menace. Ils pourront attaquer des intérêts vitaux civils ou militaires, si bien qu'il faut au minimum les connaître. Les produire serait finalement le meilleur moyen de les connaître et d'en contrôler la diffusion.
- l'approche militaire du faible au fort, même si elle ne saurait être le cœur de la doctrine des pays occidentaux, reste pertinente s'ils sont confrontés à une puissance militaire moyenne mettant en œuvre des systèmes sol/air de dernière génération (stratégie de déni d'accès).

Il est donc judicieux de s'engager sur la voie des drones de saturation/destruction dès à présent.

Quelle stratégie contre la menace AIR/AIR?

Les pays occidentaux savent pour l'instant prendre en compte la menace AIR/AIR, avec un panel complet de moyens de détection et d'interception. Le drone présente cependant des avancées dans ce domaine, qu'il s'agit de développer.

Par essence, la campagne aérienne donne un avantage déterminant à l'attaque. Il est en effet très coûteux de maintenir en vol des aéronefs en posture défensive (CAP¹⁶), si bien que la plupart resteront en posture d'alerte au sol (QRA¹⁷). Par ailleurs, il est plus facile de neutraliser un avion au sol qu'en vol, si bien que celui qui attaque avec un gros raid possède un avantage temporel (il est quasiment impossible de faire décoller autant d'aéronefs que le raid ennemi avant que celui-ci n'atteigne son objectif).

Privés de leurs pilotes embarqués, les drones promettent une grande capacité à durer dans les postures d'alerte. Dans l'éventualité d'une menace de grande intensité, il est envisageable de faire décoller en quelques minutes (voir quelques dizaines de secondes) un grand nombre de drones intercepteurs. Si toutes les phases de mise en route, de roulage, et de décollage, sont préprogrammées, tout pourrait être fait de façon très automatisée, ce qui présenterait un avantage important par rapport au vecteur piloté manuellement.

L'horizon accessible au drone est donc sa capacité à dégrader très fortement l'avantage offensif de l'adversaire, voire de l'annihiler.

Autre intérêt du drone : son utilisation possible dans des domaines de permissivité plus faible. Par exemple, dans les premières phases d'une campagne aérienne, ou dans des conflits hybrides, l'identification de la menace est un facteur clé de la réussite. Très souvent, les règles d'engagement prévoient une identification visuelle préalable à toute action offensive à l'encontre de cette menace. Un drone, *a fortiori* s'il est rapide et furtif, pourra s'approcher suffisamment pour permettre une identification visuelle.

¹⁶ Combat Air Patrol

¹⁷ Quick Response Alerte

Quand il s'agira de combattre, les drones peuvent bien sûr être équipés de missiles AIR/AIR longue portée. Mais dans ce domaine d'emploi, l'espace est réduit. Soit la menace n'est pas furtive et elle peut être traitée à grande distance par les aéronefs pilotés qui existent déjà (par exemple un Rafale avec un missile *Meteor*), soit elle est furtive et doit être traitée visuellement (par des missiles infrarouges très courte portée, ou par un canon).

La plupart des avions de combat sont limités par la capacité d'accélération supportable par l'homme (en général autour de 9G). Les drones ne sont pas concernés par cette limitation, et peuvent encaisser plus d'accélération, ce qui leur donne un avantage déterminant dans le cas de combat rapproché.

La furtivité et les drones peuvent donc paradoxalement nous renvoyer quelques décennies en arrière en matière de tactique aérienne : l'avenir est peut-être au retour du *dogfight*.

En matière de combat AIR/AIR, les drones devraient donc disposer des caractéristiques suivantes :

- être rapides et très manœuvrables,
- être furtifs aux ondes radars,
- être dotés d'un système optronique secteur frontal très efficace,
- être dotés d'un canon avec accrochage visuel et visée automatique,
- potentiellement dotés de missiles courte portée multi bandes très sensibles (visible, IR).

Compte-tenu de la supériorité actuelle des armées occidentales en matière de supériorité aérienne, (et même si cette notion ne fait pas consensus), il n'est pas forcément indispensable de s'engager en grande priorité dans le développement de drones de défense aérienne de très haute technologie. De plus, en cas de combat air/air de grande ampleur contre une grande puissance, l'enjeu nucléaire éclipserait assez vite celui de la supériorité aérienne.

Ainsi, le développement de drones de cette catégorie devrait idéalement se limiter à l'optimisation, ou à la *dronisation* des aéronefs actuels.

Les liaisons de donnée en milieu non permissif

La question des liaisons de donnée en milieu non permissif est parfois négligée. Ce biais vient très certainement du fait que la plupart des drones de dernière génération ont été utilisés dans des conflits asymétriques, là où la transmission par satellite ne présente que des avantages (permanence, universalité, haut débit).

Dès qu'il s'agit d'acquérir la supériorité aérienne face à une puissance moyenne, la pérennité des satellites ne saurait être une donnée sur laquelle on peut compter car :

- certains pays ont déjà démontré leur capacité à détruire des satellites¹⁸.
- le brouillage des satellites est très facile à mettre en place technologiquement¹⁹.

La vulnérabilité des satellites vient principalement du fait que leur trajectoire par rapport au sol est prévisible (voire nulle pour les satellites géostationnaires). Une fois le satellite localisé, le fait de pointer une antenne parabolique sur lui crée une opportunité facile à exploiter. Le plus courant est de recouvrir le signal émis par le drone vers le satellite. Comme drone et brouilleur sont sensiblement au même endroit (à l'échelle du théâtre), il ne sera pas possible de discriminer le signal du bruit. Une autre solution consiste à brouiller l'émission montante du centre de contrôle vers son satellite, mais cela demande plus de puissance. En effet, il s'agit de brouiller une antenne du satellite qui est pointée ailleurs (vers le centre de contrôle).

Dans le cas de l'acquisition de la supériorité aérienne, il faut présumer que l'adversaire dispose de capacités de brouillage de satellites, car les moyens techniques à mettre en œuvre sont infiniment moindres pour brouiller un drone que pour l'intercepter. Dit autrement, il serait contre-productif de dépenser des milliards d'euros pour développer des drones servant à acquérir la supériorité aérienne s'ils étaient vulnérables à des systèmes coûtant seulement quelques dizaines de milliers d'euros.

Il est donc indispensable de disposer de communications horizontales robustes pour contrôler les drones d'acquisition de la supériorité aérienne, et non pas de compter sur les seules liaisons satellitaires.

Les liaisons sol/air classiques (LOS²⁰) ne sont généralement suffisantes que lors des phases de décollage et d'atterrissage des drones. Dès qu'ils opèrent au-dessus du théâtre, il s'agit de les relayer par des liaisons air/air. Cela peut être fait de deux façons :

- soit de façon directe, avec des opérateurs embarqués à bord d'un aéronef (type C-130 ou CN235) qui vole suffisamment haut, mais largement en arrière de la ligne de front (en *stand off*).
- soit de façon indirecte, avec des drones relai volant eux aussi en *stand off*, mais en portée d'un centre de contrôle.

La deuxième solution est à privilégier, car il n'y aurait pas forcément de drone particulier à développer pour faire le relai, mais seulement des kits optionnels à intégrer. En effet, il serait judicieux d'utiliser comme relais les drones utilisant la supériorité aérienne acquise (ceux qui seront développés dans la troisième partie) à un moment de la campagne aérienne où ils ne peuvent pas encore intervenir en première ligne.

¹⁸ China Tests Secret Missile Capable of Hitting US Satellites - Franz-Stefan Gady - The Diplomat - 11/11/2015

¹⁹ In Skies Over Iran, a Battle for Control of Satellite TV - Paul Sonne and Farnaz Fassihi - Wall Street Journal - 27/12/11

²⁰ Line-Of-Sight, ou portée optique; très limitée à cause de la rotondité de la terre et des obstacles naturels.

Cette solution de liaison horizontale serait bien plus robuste car le drone relai ne serait pas à portée optique d'un brouilleur placé au sol, quand bien même il serait localisé avec suffisamment de précision par l'adversaire.

Du point de vue du signal en lui-même, il existe plusieurs solutions pour limiter le brouillage:

- l'évasion de fréquence (comme pour la liaison 16), qui est la solution à retenir pour les signaux de positionnement ou de contrôle, qui demandent proportionnellement peu de débit par rapport aux données vidéo,
- des signaux électromagnétiques classiques, mais durant une courte fenêtre temporelle d'émission, pour ne pas laisser le temps à l'adversaire de localiser et/ou de caractériser le signal avant de le brouiller. Cette solution est idéale pour les drones de saturation, qui n'ont besoin d'émettre qu'au moment où ils approchent de la position présumée de leur cible.
- l'utilisation de lasers, pour transmettre les signaux de façon hyper-localisée concentrée, en gardant à l'esprit que la plupart des fréquences associées sont absorbées par les perturbations météorologiques,
- l'utilisation des réseaux mobiles de l'adversaire (3G/4G). Pour le prix d'un forfait "données" chez un opérateur local, il serait très délicat à l'adversaire de discerner ce qui relève d'une utilisation domestique de ce qui relève de son ennemi. Compte-tenu de son caractère sensible en matière de technologie duale, cette solution ne devrait être réservée qu'aux opérations clandestines ou spéciales.

Quelle que soit la solution choisie, la problématique des liaisons de données pour les drones servant à acquérir la supériorité aérienne dans les environnements non permissifs est un enjeu majeur à prendre en compte, afin qu'elle ne devienne pas une vulnérabilité de type *talon d'Achille*.

La "dronisation" des avions de combat.

En matière de supériorité aérienne, la transition vers les drones tient donc du grand écart : pour fabriquer de nouveaux drones, il s'agit de bénéficier de l'expérience acquise sur les vecteurs pilotés, tout en trouvant des solutions pour régler les nouveaux problèmes que cela pose.

Ce grand écart peut très avantageusement être réglé en envisageant la "dronisation" de certains avions de combat. Car finalement, un avion de combat dronisé et un drone de combat sont deux concepts extrêmement proches. Ce n'est pas une hérésie conceptuelle de construire des drones sur la base d'une cellule éprouvée, comme celle du Rafale. Cette idée est peu entendue mais elle existe²¹. Il ne faut pas oublier que la plupart des grandes innovations ont été le fruit d'un courant initialement minoritaire.

Cette dronisation d'avions de combat présente en effet plusieurs avantages :

²¹ Retour vers le futur ? De l'adaptation des drones MALE aux opérations de demain - Joseph Henrotin - Revue DSI n°95 - Septembre 2013 (<http://www.dsi-presse.com/?p=6890>)

- le coût de développement est réduit, car la cellule, la propulsion, et une partie des systèmes existent déjà,
- la maintenance peut être en partie commune avec les équivalents habités,
- les convoyages et les vols d'entraînement peuvent être réalisés en volant en formation avec des proches équivalents habités, ce qui simplifie les problématiques d'incorporation au trafic civil,
- la place libérée par le pilote et les systèmes associés peuvent être utilisés pour du carburant supplémentaire, ou des systèmes supplémentaires,
- à contrario, si les systèmes spécifiques aux drones peuvent être "ajoutés" à iso-volume, ou en supplément extérieur (nacelle dédiée), le drone peut rester optionnellement habitable, ce qui présente une énorme plus-value pour les convoyages et les entraînements.

Conclusion de la 2e partie

Les drones de combat actuellement en développement, et soutenus par des états ou des industriels (FCAS, nEUROn) le sont peut-être autant pour des raisons emblématiques que pragmatiques. Dans tous les cas, ils explorent un domaine doctrinal très proche des avions de combat les plus modernes (Typhoon, Rafale, F-35), si bien que les priorités doivent être étudiées attentivement pour ne pas laisser de côté d'autres segments de drones, qui n'en sont qu'à leur balbutiement en Europe. Il s'agit des drones de saturation/destruction évoqués ci-avant, et des drones qui n'entreraient en jeu qu'une fois la supériorité aérienne acquise, qui sont l'objet de la troisième partie.

Partie 3 : quels drones quand la supériorité aérienne est acquise?

Dans la partie précédente ont été expliqués les enjeux liés à l'acquisition de la supériorité aérienne. Quand cette supériorité est acquise, que ce soit de façon implicite (s'il n'y a jamais eu de menace aérienne significative chez l'ennemi), ou explicite (par des actions offensives), l'usage de la troisième dimension sera très différent.

A ce stade, apparaissent alors des missions de surveillance, de bombardement stratégique ou d'appui feu, missions pour lesquelles les drones apportent une plus-value exceptionnelle.

L'enjeu de la permanence de la présence

Privés de pilote embarqué, les drones peuvent rester plusieurs dizaines d'heures en l'air. Il n'y a pas de limite théorique à la durée maximale qu'un drone puisse tenir en l'air. Par exemple, à technologie constante, il existe un moyen d'allonger l'endurance des drones : en augmenter la taille. En effet, plus un drone sera gros et plus il sera endurant. Il s'agit d'un effet d'échelle bien connu en mécanique des fluides : plus le mobile est petit, et plus le fluide environnant lui semblera "pâteux"; plus il sera gros, et plus le fluide environnant lui semblera fluide, offrant proportionnellement moins de résistance²². C'est ce qui explique le gigantisme des navires et des avions très long courrier, qui consomment beaucoup moins de carburant au kilomètre par tonne transportée, malgré le fait qu'ils aillent au moins aussi vite que leurs homologues plus petits.

Autre facteur important quand il s'agit d'améliorer l'endurance : le rendement des moteurs. Au contraire des avions de chasse, qui privilégient la puissance maximale pour un poids du moteur minimal - domaine pour lequel les turboréacteurs avec postcombustion sont imbattables (au prix d'un rendement désastreux quand la postcombustion est enclenchée), les drones qui privilégient l'endurance devront être dotés des technologies qui assurent le meilleur rendement. En l'occurrence, il s'agit des turbopropulseurs, ou des moteurs à explosion.

Au moment de concevoir un tel drone, les moteurs à explosion ne doivent pas être écartés (ils équipaient d'ailleurs les premiers drones *Predator*). Certes, ils ont un rapport poids/puissance catastrophique par rapport aux turbopropulseurs, mais sur des très longues durées, leur rendement supérieur en consommation de carburant pourrait être largement amorti. De plus leur prix est sans commune mesure avec celui des turbopropulseurs.

Dernier tabou (mais en train de tomber) dans le domaine de la permanence en l'air : l'utilisation du moteur diesel. Cela prête à sourire, mais cela pourrait être une piste très intéressante à exploiter pour les raisons suivantes :

- les progrès techniques réalisés ces dernières années sur les moteurs automobiles permettent de très hauts niveaux de performance pour des poids qui restent faibles²³
- le cycle thermodynamique des moteurs diesels a un rendement théorique maximal bien supérieur à celui des moteurs à essence,

²² Se référer à la théorie du nombre de Reynolds, en mécanique des fluides, qui permet de quantifier cet effet.

²³ Le Diesel aux 24 heures du Mans : un peu de technique - Jean-Pierre Pouille (<http://exploratheque.net/articles/le-diesel-aux-24-heures-du-mans-un-peu-de-technique>)

- l'efficacité des turbocompresseurs actuels permettent d'envisager des vols à moyenne altitude.

Pour ces raisons, les moteurs diesels rejoignent peu à peu à l'aviation légère, (ainsi que pour des raisons de coût²⁴). Cette situation pourrait être inspirante pour les drones qui auraient à tenir longtemps en l'air.

Il est donc vraisemblable que les drones qui évolueront en situation de supériorité aérienne seront grand, équipés d'un ou plusieurs turbopropulseurs, voire de moteurs à explosion (potentiellement diesel), et que leur endurance sera longue au point de modifier l'usage de l'air.

En effet, jusqu'à présent, la troisième dimension était considérée comme un milieu évanescent, impossible à occuper. Pour les raisons techniques évoquées ci-avant, il y a potentiellement un changement de paradigme. Occuper l'espace aérien représente un avantage stratégique et tactique énorme. Il devient possible (en théorie) de tout voir, de tout écouter (à commencer par les communications téléphoniques), d'agir sans délai et de façon précise.

Il deviendra très bientôt possible de faire peser sur l'ennemi une *épée de Damoclès*, qui changera complètement sa façon d'agir. Actuellement, le combat contre Daesch ne montre que les prémices de cette doctrine. Il s'agira d'interdire tout mouvement d'armement lourd. Instantanément détecté, de jour comme de nuit, il sera instantanément détruit dès que les conditions de dommages collatéraux le permettront. Les chefs de guerre seront localisés par leurs émissions radio. Même l'armement léger sera identifié si porté de façon visible par les combattants. Les comportements agressifs de milice pourront être signalés par la population civile, par exemple à l'aide d'applications sur *smartphone*, et les drones pourront pointer leurs capteurs vers la zone, soit pour guider des renforts terrestres, soit pour les traiter directement. En matière de guerre psychologique, il sera également possible d'émettre des radios et des télévisions en permanence.

Avec tous ces modes d'action, il sera possible de créer une torpeur chez les combattants ennemis, ce qui leur enlèvera potentiellement toute volonté de combattre, pour peu qu'ils soient rationnels. Cette rationalité n'est pas représentative des conflits actuels, où les combattants ennemis montrent une certaine appétence à mourir en martyr. Il est probable que la polémique persistante sur les drones²⁵ vienne en partie du malaise causé par le fait que les combattants fanatisés ne se rendent pas, si bien qu'il faut les éliminer un à un pour obtenir un résultat. Avec un conflit plus classique impliquant un adversaire rationnel, une *épée de Damoclès* suspendue en permanence au-dessus de sa tête sera suffisamment dissuasive pour le contraindre, sans avoir à lui causer trop de pertes.

La permanence dans la troisième dimension est donc un enjeu majeur des combats futurs, et le drone est le seul outil capable d'y répondre.

²⁴ Gaz'aile - Serge Pennec - (<http://gazaille2.free.fr/diesel.php>)

²⁵ Comment Obama a appris à tuer avec ses drones - Jo BeckerScott Shane - The New York Time - (<http://www.courrierinternational.com/article/2012/06/07/comment-obama-a-appris-a-tuer-avec-ses-drones>)

Une modularité porteur/capteurs et habité/non habité indispensable

Une des autres raisons pour lesquelles les réflexions sur les drones sont parfois épineuses, est la tendance naturelle qu'il y a d'associer sous le même concept les capacités des vecteurs et celles des capteurs qu'ils embarquent. Or, les deux notions sont très différentes. Les qualités du vecteur ne dépendent pas des capteurs, et les qualités du capteur dépendent peu du vecteur (une fois les minima d'altitude et les maxima de vitesse respectés).

Plusieurs pays qui s'associent pour produire un drone peuvent diverger sur le type de capteurs, de liaisons de données, sur l'armement ou non du drone, en fonction des doctrines, des cultures nationales, ou tout simplement pour protéger un savoir-faire national. Par ailleurs, d'une année sur l'autre, les évolutions technologiques rendent obsolètes un capteur ou une liaison, et créent de nouvelles opportunités pour la prochaine génération de matériel.

La plupart des programmes d'armement militaire prennent comme point de départ la mission, qui se décline en capteurs, puis en vecteur pour le transporter. Il s'agit de la démarche "top-down" classique, du concept vers le concret.

Il est extrêmement délicat d'appliquer cette méthode aux programmes de drone opérant quand la supériorité aérienne est acquise, compte-tenu de la très grande variabilité temporelle et géographique des besoins en capteur et en armement. Le risque existe donc de développer un vecteur qui se révélera insuffisant pour la *guerre d'après*, ou de ne pas trouver de consensus suffisant pour commencer à travailler.

Ainsi, une fois n'est pas coutume, il faut développer ce type de drone par l'approche "*bottom-up*". C'est à dire de construire un vecteur (suffisamment grand, cf paragraphe précédent) par un programme multinational, et ensuite d'y monter des modules (capteurs, liaison, armement), développés nationalement (ou par des coopérations *ad hoc*).

Ce qui rend possible cette idée contre-intuitive, c'est le fait que la taille serve l'endurance, et donc la permanence. Si le vecteur se retrouve surdimensionné par rapport à ses capteurs, il suffira d'y ajouter du carburant pour retrouver une cohérence d'ensemble. En d'autres termes, toute "erreur" de surdimensionnement initial aura paradoxalement un effet bénéfique sur l'endurance.

Outre le fait qu'ôter les sujets épineux du débat permet de le simplifier, cette idée permettrait par nature d'être robuste aux évolutions futures. Le vecteur posséderait des baies vides, pré équipées en énergie, en câblage de données (montantes et descendantes). Les standards seraient bien définis, mais seraient surdimensionnés pour ne pas brider les évolutions futures.

Ces baies pourraient (par exemple) se répartir comme ceci :

- baie haute (liaison satellite, ou poste de pilotage, ou carburant)
- baie basse (capteurs, calculateurs, liaisons de données horizontales)
- point d'accroche humide sous les ailes (armement, réservoirs supplémentaires)

Cette discipline de développement permettrait aussi une répartition des tâches plus facile entre les différents industriels, et à l'usage, la maintenance en serait grandement facilitée.

Idéalement, la baie haute pourrait optionnellement être équipée d'un poste de pilotage habitable, ce qui permettrait de régler les contraintes légales liées à l'usage des drones sur les territoires nationaux. Il serait ainsi possible de s'y entraîner, la responsabilité d'un pilote étant établie. Certes, l'endurance serait limitée par les capacités physiologiques, et la liaison satellite serait enlevée, mais l'entraînement des opérateurs au sol pourrait avoir lieu en liaison LOS ce qui est suffisant sur le territoire national. Ce module de pilotage habitable permettrait également les convoyages en cas de déploiement, ce qui réglerait bien des problématiques diplomatiques et réglementaires. Par ailleurs, pour un événement particulier (catastrophe naturelle, etc...), un drone habité pourrait s'intégrer plus rapidement, et avec moins de risques réglementaires, dans le dispositif aérien mis en place.

L'enjeu de l'analyse des signaux

Les capacités des capteurs évoluent vite. En particulier, la définition des capteurs optiques augmente à une vitesse vertigineuse. Par exemple, le projet *ARGUS*, financé par la DARPA²⁶, propose un capteur de 1,8 milliard de pixels²⁷ (ce qui représente 868 fois la résolution full HD des écrans et caméras domestiques), qui n'ambitionne rien moins que de surveiller une ville de taille moyenne avec un seul capteur positionné au-dessus.

Du point de vue du renseignement d'origine électromagnétique, les technologies actuelles (échantillonneur large spectre) permettent de construire des capteurs qui produisent chaque minute plusieurs gigaoctets de données.

Avec de tels capteurs, il est illusoire de vouloir transférer les données brutes au sol pour les traiter ensuite de façon manuelle. Pour l'instant, les capacités de transfert sans fil ne le permettent pas, et il est très vraisemblable que les capteurs continuent à évoluer avec un temps d'avance sur les capacités de transmission. Sauf à accepter un goulet d'étranglement qui briderait la capacité globale, il sera indispensable qu'un traitement de ces données ait lieu en temps réel, au plus près du capteur, donc à l'intérieur du drone.

Par exemple, ne seraient transmises au sol que les images des véhicules à usage militaire, ou que les mouvements d'individus armés, ou les mouvements des téléphones mobiles dignes d'intérêt. Bien évidemment, toute autre zone d'intérêt pourra être extraites des données brutes à la demande. Le drone pourra également disposer en mémoire d'une représentation complète du théâtre, pour lui permettre de repérer les changements (par exemple l'apparition soudaine de végétation, signe possible du camouflage d'une nouvelle installation).

²⁶ Defense Advanced Research Projects Agency-Agence de recherche américaine liée à la défense.

²⁷ Drone Spying Capabilities Are About To Take Another Huge Leap- Paul Szoldra-(<http://www.businessinsider.com/darpa-argus-mega-camera-most-detailed-surveillance-camera-in-world-2013-1?IR=T>)

Cette capacité à traiter les données de façon automatisée est un enjeu militaire à part entière, qui rejoint l'analyse des images satellitaires, ou l'analyse du milieu cyber. Les technologies sont encore balbutiantes, mais des progrès récents en matière d'intelligence artificielle par programmes neuronaux sont très prometteurs²⁸. De tels systèmes sont capables d'apprendre de façon autonome sur la base d'archives de données (ou même directement à partir d'*internet*), et d'inventer eux-mêmes leurs propres critères de classification, à multiples étages. Les expériences actuelles donnent déjà des critères si évolués qu'ils sont inaccessibles à la compréhension explicite d'un être humain.

Quand nous parlons d'intelligence artificielle à bord des drones, il est important de désamorcer une éventuelle polémique. Il ne s'agit pas de laisser le drone prendre lui-même les décisions concernant sa trajectoire, ou pire, concernant l'emploi de la force. Il s'agit juste de trier les données remontées par les capteurs, afin de ne transférer vers le sol qu'une quantité de données exploitable. C'est bien évidemment l'opérateur, humain, dont l'éthique et le respect des règles d'engagement seront strictement surveillées, qui prendra toutes les décisions. Pour faire un parallèle, l'intelligence artificielle localisera l'aiguille dans la botte de foin, et l'homme décidera comment l'extraire.

Quoi qu'il en soit, il est évident que ce type de technologie est extrêmement sensible. Il est très important que les états aient un temps d'avance sur les organisations commerciales, qui sont parfois enclines à placé le critère de profit avant celui de sécurité. Pour la France, qui a fait de sa liberté d'appréciation un des piliers de sa politique de défense, il est vital de s'engager de façon ambitieuse dans ces technologies d'analyses de données par réseaux neuronaux. Ceci conditionnera sa capacité à œuvrer dans les milieux aériens, satellitaires, et cybernétiques.

L'enjeu de la transmission des données

Mêmes filtrées par des systèmes d'analyse, les données à transmettre au sol en temps réel restent un enjeu majeur.

Contrairement aux drones nécessaires à l'acquisition de la supériorité aérienne, les drones exploitant une situation de supériorité aérienne acquise peuvent utiliser les liaisons satellitaires, gage de stabilité dans le temps et d'une capacité d'action quasi-globale.

Cependant, même quand la supériorité aérienne est acquise, il est important de prévoir les cas de brouillage. Il est en effet facile de brouiller un satellite, surtout s'il est géostationnaire, ce qui est le cas d'une partie des satellites militaires²⁹. Une solution immédiate est d'adapter les fréquences : il est possible d'utiliser délibérément des gammes technologiquement plus dures à exploiter, ou de faire de l'évasion de fréquence, ce qui est très coûteux en termes de débit (l'évasion sur X fréquences, divise le débit théorique maximal par X).

²⁸ Comment le « deep learning » révolutionne l'intelligence artificielle - Morgane Tual - Le monde - 24/7/2015 - http://www.lemonde.fr/pixels/article/2015/07/24/comment-le-deep-learning-revolutionne-l-intelligence-artificielle_4695929_4408996.html#ZzF6byyU8ORYSOIx.99

²⁹ La guerre à haut débit a besoin de satellites - RTL/AFP - 9/2/2014 (<http://www.rtl.fr/actu/la-guerre-a-haut-debit-a-besoin-de-satellites-7769586026>)

Au-delà de ces solutions déjà prises en compte, il est utile de disposer d'une capacité de résilience au brouillage par liaison horizontale. Idéalement, cela prendrait la forme de modules relai que l'on placerait optionnellement sur un drone, qui orbiterait non pas au-dessus du théâtre mais au-dessus de la base arrière. Certes, la portée théorique ne serait que de l'ordre de 700 km si on effectue le calcul avec comme hypothèse les altitudes habituelles de travail des drones MALE actuels. En créant une "chaîne de drone", cela permettrait néanmoins de prendre en compte la situation sur une plus grande élongation, le temps de localiser le brouilleur de satellite, et de le neutraliser.

Par ailleurs, cette capacité de relai horizontal serait très utile en appui des drones destinés à acquérir la supériorité aérienne, pendant la première phase de la campagne aérienne (cf partie 2).

Conclusion de la 3e partie

Les drones exploitant une situation de supériorité aérienne acquise ne doivent pas être oubliés par l'Europe au seul motif que les *Reaper* déjà en service remplissent très bien leur rôle. Il s'agit de se préparer dès maintenant à la génération suivante.

Ainsi, l'étude définition lancée par l'OCCAR pour un drone MALE³⁰ n'a pas le droit d'être un échec, quitte à accepter de concentrer les efforts sur un porteur modulaire, dans une approche "*bottom-up*" assumée.

Pour la France, l'enjeu est de développer une capacité nationale très robuste d'analyse automatisée des données, idéalement en exploitant pleinement les dernières avancées en matière de réseaux neuronaux. Le monde universitaire français s'est déjà saisi de la question³¹; il reste à créer une impulsion politique forte pour prendre une place déterminante dans la compétition mondiale sur ce sujet.

³⁰ Drone MALE : Berlin, Paris et Rome prêts à voler européen - Michel Cabirol - La Tribune - 19/5/2015 (<http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/drones-male-l-allemande-la-france-et-l-italie-prets-a-voler-europeen-477089.html>)

³¹ L'intelligence artificielle entre au Collège de France - Cédric Enjalbert - Philosophie Magazine - 5/2/2016 - (<http://www.philomag.com/lepoque/brevs/lintelligence-artificielle-entre-au-college-de-france-14055>)

CONCLUSION

Les développements précédents ont montré qu'il y avait trois types de drones très différents à développer.

Les premiers sont une sous-catégorie des drones d'acquisition de la supériorité aérienne, capable d'intervenir dans un environnement très menaçant. Ils seront furtifs et/ou auto-protégés, rapides et capables d'engager en AIR/AIR et AIR/SOL. C'est ce type de drone qui est pour l'instant privilégié par les politiques car très emblématique (nEUROn - FCAS), mais il faut garder à l'esprit que c'est dans ce domaine que les moyens existants sont déjà les plus modernes (Rafale, Typhoon, puis F-35).

Les deuxièmes sont les drones de saturation, deuxième sous-catégorie des drones d'acquisition de la supériorité aérienne. Ces drones sont très lents, de construction basique (au cas extrême ils peuvent ressembler à des para-moteurs), et leur efficacité vient du fait qu'ils sont très difficilement détectables tout en coûtant moins cher que les menaces sol/air qu'ils vont neutraliser. Ce seraient des bombes volant lentement et bas vers les systèmes sol/air de haute valeur. Le concept serait gagnant/gagnant : interceptés, ils détruiraient un missile onéreux, et non détectés, ils iraient neutraliser leur cible, pilotés à distance en temps réel. Au minimum, il est important de connaître cette catégorie car elle peut constituer une menace asymétrique de premier ordre.

Les derniers types de drones sont ceux qui évoluent là où la supériorité aérienne est acquise, et donc là où les moyens vont pouvoir se consacrer au support aux autres composantes. Ces drones seraient lents, non auto-protégés, mais seraient en contrepartie les plus endurants. De façon modulaire, autour d'un vecteur unique ayant ces caractéristiques, on pourra embarquer plusieurs type de capteurs (imagerie, radar, EM, téléphonie), et plusieurs types d'effecteurs (missiles sol/air, bombes, canon) selon les besoins.

L'axe d'effort prioritaire pour la France est le développement de l'analyse automatique par intelligence artificielle des images et signaux, car il semble évident que l'explosion du volume des données les rendra très prochainement inexploitable de façon manuelle. De plus de telles technologies ne seront disponibles sur étagère que de façon très bridées. Il est donc question de souveraineté nationale : il s'agit du prochain virage à ne pas manquer.

L'axe d'effort prioritaire pour l'Europe est le développement des vecteurs et capteurs, en particulier ceux qui évolueront là où la supériorité aérienne est acquise ; tout d'abord car les vecteurs n'ont pas d'équivalents habités, et ensuite car c'est la moins sensible en matière de souveraineté.

Enfin, il conviendra de garder à l'esprit que les liens entre les vecteurs habités et inhabités doivent être étroits et réversibles. En effet, une bonne façon d'avoir rapidement un drone est de "droniser" un avion, et une bonne façon de lever les contraintes réglementaires en matière de circulation

aérienne, ou de travailler en ambiance brouillée, est de rendre un drone optionnellement habité.

ANNEXE

Une nouvelle classification proposée pour les drones

	Drones d'acquisition de la supériorité aérienne (Armée de l'air/Marine)	Drones exploitant la supériorité aérienne (Armée de l'air/Marine)	Drones de manœuvre terrestre (Armée de terre)
Doctrine générale	Ce type de drone est utilisé face à un ennemi qui dispose encore de défense anti-aérienne.	Ce type de drone est utilisé quand la supériorité aérienne est acquise, et qu'il ne reste qu'une menace résiduelle (<i>manpads</i> , petit calibre)	Ce type de drone décolle et se pose en campagne, en accompagnement des forces terrestres. La supériorité aérienne est supposée acquise, ou non nécessaire (micro-drones)
Missions principales	Localisation et neutralisation des menaces AIR/AIR et surface/air	Renseignement, bombardement stratégique, interdiction, appui aérien lourd.	Renseignement tactique, appui aérien léger.
Grande vitesse	Très utile	Peu utile voire contre-productif	Peu utile voire contre-productif
Longue endurance	Peu utile	Très utile	Utile
Haute altitude	Très utile	Très utile	Peu utile
Altitude moyenne	Peu utile	Très utile	Très utile
Basse altitude	Très utile	Peu utile	Très utile
Décollage court ou vertical	Peu utile (sauf si version navalisée)	Peu utile (sauf si version navalisée)	Très utile
Camouflage optique	Peu utile	Très utile	Très utile
Furtivité radar	Très utile	Peu utile	Peu utile
Autoprotection	Très utile	Peu utile	Peu utile
Contre-mesures	Très utile	Peu utile	Peu utile
Discrétion des émissions	Très utile	Peu utile	Peu utile
Capacité de détection optique (IR+visible)	Très utile	Très utile (toutes focales)	Très utile (grande focale)
Capacité d'interception téléphonique + VHF	Peu utile	Très utile	Utile selon mission + brouillage anti-IED
Capacité de détection des radars	Très utile	Peu utile	Peu utile
Capacité d'imagerie radar	Peu utile, voire contre-productif (absence de discrétion)	Très utile	Peu utile
Capacité de diffusion INFO OPS	Peu utile, voire contre-productif (absence de discrétion)	Très utile	Peu utile
Tir air/air	Très utile	Peu utile	Peu utile
Tir air/surface	Très utile	Très utile	Très utile
Capacité SEAD	Très utile	Peu utile	Peu utile
Capacité de montée en puissance rapide (rapidité de projection, etc...)	Très utile	Utile	Utile
Grande capacité à durer (cycle de maintenance léger, etc)	Peu utile	Très utile	Très utile

