

Canadian
Forces
College

Collège
des
Forces
Canadiennes



LES PLATEFORMES MULTI-MISSIONS DE L'ARC : CONCEPTS ISOLÉS OU UN SYSTÈME DE SYSTÈMES ?

Major Julien Letarte

JCSP 46

Solo Flight

Disclaimer

Opinions expressed remain those of the author and do not represent Department of National Defence or Canadian Forces policy. This paper may not be used without written permission.

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, as represented by the Minister of National Defence, 2020

PCEMI 46

Solo Flight

Avertissement

Les opinions exprimées n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent aucunement des politiques du Ministère de la Défense nationale ou des Forces canadiennes. Ce papier ne peut être reproduit sans autorisation écrite.

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale, 2020

CANADIAN FORCES COLLEGE – COLLÈGE DES FORCES CANADIENNES

JCSP 46 – PCEMI 46

2019 – 2020

SOLO FLIGHT

**LES PLATEFORMES MULTI-MISSIONS DE L'ARC :
CONCEPTS ISOLÉS OU UN SYSTÈME DE SYSTÈMES ?**

Par le major Julien Letarte

“This paper was written by a candidate attending the Canadian Forces College in fulfillment of one of the requirements of the Course of Studies. The paper is a scholastic document, and thus contains facts and opinions which the author alone considered appropriate and correct for the subject. It does not necessarily reflect the policy or the opinion of any agency, including the Government of Canada and the Canadian Department of National Defence. This paper may not be released, quoted or copied, except with the express permission of the Canadian Department of National Defence.”

Word Count: 5 915

« La présente étude a été rédigée par un stagiaire du Collège des Forces canadiennes pour satisfaire à l'une des exigences du cours. L'étude est un document qui se rapporte au cours et contient donc des faits et des opinions que seul l'auteur considère appropriés et convenables au sujet. Elle ne reflète pas nécessairement la politique ou l'opinion d'un organisme quelconque, y compris le gouvernement du Canada et le ministère de la Défense nationale du Canada. Il est défendu de diffuser, de citer ou de reproduire cette étude sans la permission expresse du ministère de la Défense nationale. »

Nombre de mots : 5 915

LEXIQUE

AMC	Aéronefs multimissions canadiens
ARC	Aviation royale canadienne
BAMS	Broad area maritime surveillance
C2	Commandement et contrôle
C4ISR.....	commandement, contrôle, communications, informatique, renseignement, surveillance et reconnaissance
CMMA	Canadian multi-mission aircraft
CONOPS	Concept of operations
COORA.....	Coordonnateur des opérations offensives et de la reconnaissance armée
EO/IR	Électro-optique et infrarouge
FAC	Forces armées canadiennes
GE	Guerre électronique
GEO	Orbite géostationnaire
HF	Haute fréquence
ISR	Intelligence, surveillance, and reconnaissance
JAPCC.....	Joint Air Power Competence Centre
LAN	Lutte anti-navire
LASM	Lutte anti-sous-marine
M3A	Multi mission maritime aircraft (OTAN)
MALE	Moyenne altitude et longue endurance
MIO	Opérations d'interdiction maritime

MMA.....	Multimission maritime aircraft
MSE	Mesure de surveillance électronique
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NSO.....	NATO Standardization Office
OTAN	Organisation du traité de l'Atlantique Nord
PSE.....	Protection, sécurité, engagement
RMP	Tableau de la situation maritime
RPAS.....	Remotely piloted aircraft system
RSR.....	Renseignement, surveillance et reconnaissance
SAC.....	Commandant de la zone de contact
SATP.....	Système d'aéronefs télépilotes
SCD.....	Strategic context document
SIA	Système d'identification automatique
SOI	Statement of intent
SOR.....	Statement of requirements
STANAG	Standardization agreements
TED.....	Traitement, exploitation et dissémination
UAV	Unmanned air vehicle
ZR	Zone de responsabilité

INTRODUCTION

« Personne ne sait comment sont exactement les choses quand on ne les regarde pas. »
Hubert Reeves, *Patience dans l'azur : l'évolution cosmique*

Depuis déjà quarante ans, l'Aviation royale canadienne (ARC) utilise le CP140 Aurora comme plateforme de renseignement, de surveillance et de reconnaissance (RSR)¹. Principalement conçu pour mener la lutte anti-sous-marine (LASM), ce vénérable appareil a effectué plusieurs types de missions au cours de ses années de service. Des patrouilles maritimes traditionnelles dans les mers du monde à la recherche des combattants de DAESH en Irak en passant par la surveillance dans l'Arctique, la cartographie de l'Afghanistan et le soutien aux Canadiens affectés par les désastres naturels, ces missions ne peuvent être regroupées que par l'appellation RSR². Malgré une modernisation de leur équipement et un projet de prolongement de leur vie utile, les Aurora doivent officiellement être mis hors service en 2030³, mais officieusement en 2040⁴.

Pour éviter une perte des capacités opérationnelles et maximiser les avancées technologiques, le ministère de la Défense planifie l'acquisition d'un système de systèmes incorporant des appareils traditionnels, des systèmes télépilotes et des plateformes spatiales⁵. Deux des éléments cruciaux au centre de ce renouvellement des capacités de

¹ Défense nationale Gouvernement du Canada, « CP-140 Aurora | Aéronefs | Aviation royale canadienne », 2013a, <http://www.rcac-arc.forces.gc.ca/fr/aeronefs-courants/cp-140.page>, consulté le 6 avril 2020.

² Défense nationale, « Current Operations List », 2015, <https://www.canada.ca/en/department-national-defence/services/operations/military-operations/current-operations/list.html>, consulté le 2 avril 2020.

³ Défense nationale, « CP-140 Aurora fleet modernization and life extension », 2018, <https://www.canada.ca/en/department-national-defence/services/procurement/cp-140-aurora.html>, consulté le 2 avril 2020.

⁴ Canada. Ministère de la Défense nationale, *Draft Strategic Context Document (SCD) Candian Multi-Mission Aircraft (CMMMA)*, Ottawa, p. 1.

⁵ Canada. Ministère de la Défense nationale, *Protection, sécurité, engagement - la politique de défense du Canada*, Ottawa, 2017a, p. 15.

RSR de l'ARC sont les projets de Système d'aéronefs télépilotés (SATP) et d'Aéronef multimiissions canadiens (AMC). Le programme SATP concerne l'achat d'un système de drones de moyenne altitude et longue endurance (MALE) armés et arrivera prochainement à l'étape de demande de propositions⁶. Le programme de l'AMC, quant à lui, devrait mener au remplacement du CP140 par un appareil de nouvelle génération capable de s'intégrer aux réseaux de données de l'ARC tout en accomplissant les tâches traditionnelles telle la LASM⁷. Ce projet n'est encore qu'à ses débuts et l'analyse des options devrait débuter en 2021.

Tout en répondant chacun à leur manière aux besoins de capacités opérationnelles du PSE, les deux projets offrent des particularités, des similitudes, mais aussi des concordances sur lesquelles il convient de s'interroger. Dans quelle mesure les concepts de SATP et AMC se chevauchent-ils et sont-ils compatibles ? S'il y a des compatibilités, comment pourraient-elles être maximisées pour soutenir les énoncés de la politique de défense du Canada tels que formulés dans *Protection, sécurité, engagement* (PSE) ? Ce travail démontrera non seulement que plusieurs éléments des programmes se chevauchent, mais qu'il est essentiel d'intégrer leurs avantages comparatifs. De plus, une telle intégration devra être planifiée et bonifiée pour atteindre les objectifs de la politique de défense du Canada et maximiser les ressources.

En vue d'étayer cette thèse, cette étude sera articulée autour de trois grandes parties. La première s'attardera à identifier les caractéristiques propres à chacun des deux

⁶ Défense nationale, « Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) », 2019, <https://www.canada.ca/en/departement-national-defence/services/procurement/remotely-piloted-aircraft-system.html>, consulté le 2 avril 2020.

⁷ Défense nationale Gouvernement du Canada, « Aéronef multimiissions canadien - Programme des capacités de la Défense », 2018, <http://dgpaapp.forces.gc.ca/fr/programme-capacites-defense/projet-details.asp?id=975>, consulté le 2 avril 2020.

programmes. Une seconde partie identifiera les éléments similaires, mais aussi complémentaires de ces programmes. Finalement, la dernière partie exposera les conditions qui sont nécessaires pour exploiter cette complémentarité, maximiser la combinaison des deux options et ainsi mieux soutenir les objectifs du PSE.

LES ÉLÉMENTS UNIQUES

Publié en 2017, *Protection, sécurité, engagement* établit la politique en matière de défense au Canada. Les deux projets répondent directement à l’initiative 67 de PSE, soit d’investir dans des plateformes de RSR⁸. Mais chacun apportera des capacités uniques à l’ARC et correspondra à des initiatives distinctes de la politique. Par exemple, le SATP est directement lié à l’exigence de PSE d’adopter des systèmes télépilotes pour « mener des opérations de surveillance et des frappes de précision⁹ ». L’AMC, quant à lui, se veut la solution au besoin « [d’]acquérir des avions multimission de prochaine génération¹⁰ » pour remplacer directement les appareils CP140¹¹. Si ignorée, cette combinaison d’objectifs communs, similaires et distincts peut mener à un dédoublement des efforts et à un gaspillage de ressources. Par contre, leur connaissance permettra d’exploiter tout le potentiel de ce système de systèmes. Comme le résume bien Bgén Huddleston dans un de ses travaux remis au Collège des Forces canadiennes : « Un des défis associés à l’élaboration d’un tel système [de systèmes] est de bien identifier le type de contribution que chaque système apporte au tout.¹² »

⁸ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2017a, p. 65.

⁹ *Ibid.*, p. 73 ; Canada. Ministère de la Défense nationale, *Concept of Operations (CONOPS): Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)*, Ottawa, Ministère de la défense nationale, 2020a, p. 1.

¹⁰ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2017a, p. 39.

¹¹ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. VIII.

¹² Traduction de l’auteur. Ian Huddleston, « Canada First? Defence Strategy and the Future Aerospace ISR ‘System of Systems’ », Thèse, Toronto, Canadian Forces College, 2009, p. 65.

L'emplacement des équipages opérationnels du SATP dans un centre de contrôle central¹³ met en lumière une particularité de ce projet. Les appareils aériens du SATP seront, évidemment, pilotés et opérés à distance. Même s'il est possible d'intégrer des appareils télépilotés au projet AMC, ceux-ci ne peuvent pas en être l'élément principal¹⁴. Plusieurs avantages et inconvénients ayant un impact opérationnel découlent de l'absence de personnel à bord de la plateforme. Selon David R. Mets, docteur en histoire et cofondateur de l'*Air University*, les systèmes de drones tirent non seulement profit de l'espace et du poids épargnés en enlevant l'équipage et tous les systèmes qui le gardent en vie, mais aussi de la diminution des limites imposées par la présence humaine¹⁵. Ces avantages généralisés des drones par rapport aux aéronefs habités incluent une autonomie élevée, un écho radar réduit, des limites de forces d'accélération élevées et une diminution du risque pour le personnel sans, toutefois, l'éliminer complètement. Malheureusement, les progrès technologiques engendrent souvent de nouvelles faiblesses et les systèmes télépilotés n'en sont pas exempts. Ainsi, toujours selon Mets, les drones nécessitent non seulement une infrastructure coûteuse, en particulier quand ils utilisent des communications par satellite, hors leurs transmissions sont vulnérables à l'interception et au piratage¹⁶. Tous ces éléments doivent être compris pour maximiser l'utilisation des appareils télépilotés au sein d'un système.

Le drone MALE du programme SATP est défini comme étant un appareil de plus de 600 kg (classe III) capable d'opérer à de moyennes altitudes et de longues

¹³ Canada. Ministère de la Défense nationale, *Statement of Operating Intent (SOI) For the Definition Phase: Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) Project*, Ottawa, Ministère de la défense nationale, 2020b, p. 31.

¹⁴ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 33.

¹⁵ David R. Mets, « RPAs: Revolution or Retrogression? », Thèse, Maxwell AFB, Alabama, Air Force Research Institute Papers, 2010, p. 10- 12.

¹⁶ *Ibid.*, p. 12- 16.

endurances¹⁷. Les membres de ce projet n'ayant pas encore finalisé le concept d'opérations, le rayon d'action ainsi que la vitesse et le temps de vol du nouvel appareil ne sont pas encore précisés. Par contre, il est à noter que l'appareil devra être capable de partir d'une des deux bases d'opérations principales ou d'un emplacement d'opérations avancé et d'atteindre les limites de la zone de responsabilité (ZR) canadienne¹⁸. Il devra ensuite être capable de suivre un navire d'intérêt pendant six heures¹⁹. Un appareil avec une vitesse de croisière de 200 nœuds devra donc rester dans les airs pendant au moins 15 heures²⁰. Ce temps de vol requis n'est pas en dehors des normes. Par exemple, un drone typique de cette catégorie et utilisé par le Canada au cours de l'opération *Athena*²¹, le CU170 Héron, accomplissait normalement des missions de 14 heures, mais pouvait rester en vol pendant plus de 24 heures²². Il faut noter que la vitesse maximale de cet engin n'est que de 117 nœuds²³, mais que les drones plus performants comme le MQ-9 Reaper peuvent atteindre des vitesses de croisière de 200 nœuds²⁴. L'appareil de RSR actuel, le CP140, peut compléter des missions d'une durée de 11 heures²⁵. Puisque le critère de

¹⁷ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 3 ; *Ibid.*, p. 2.

¹⁸ Canada. Ministère de la Défense nationale, *Current Statement of Requirements Remotely Piloted Aircraft System*, Ottawa, Ministère de la défense nationale, p. 11.

¹⁹ *Ibid.*, p. 11.

²⁰ En se basant sur une distance de 1178 NM de Comox à la limite la plus distante de la ZR canadienne, un appareil volant à 200 kts, vitesse calibrée, sans tenir en compte les vents et en supposant une altitude plus basse que la majorité des appareils de transport soit environ 20 000' donc une vitesse par rapport au sol de 270 kts, l'appareil aurait besoin de 4h22min pour l'allée et pour le retour. Les 16 minutes supplémentaires ne sont pas exagérées pour trouver la cible et commencer à la suivre. Il est à noter qu'il serait possible de retrancher jusqu'à 200 NM de la distance initiale si le simple fait de suivre la cible avec un radar et un système d'identification automatique (SIA) est suffisant pour répondre aux exigences, ce qui n'est pas clairement énoncé dans les documents du SATP.

²¹ Défense nationale, « Operation ATHENA », 2013, <https://www.canada.ca/en/departement-national-defence/services/operations/military-operations/recently-completed/operation-athena.html>, consulté le 20 novembre 2019.

²² Canada. Ministère de la Défense nationale, *CU170 Heron CONOPS*, 1^{re} édition, Ottawa, 2008, p. 2-3.

²³ *Ibid.*, p. 3.

²⁴ États-Unis. Air Force, « MQ-9 Reaper », *U.S. Air Force*, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/>, consulté le 6 avril 2020.

²⁵ Défense nationale Gouvernement du Canada, *op. cit.*, 2013a.

l'endurance de l'AMC se base sur la ZR canadienne actuellement patrouillée par les équipages du CP140, rien ne porte à croire que le temps en vol de nouvel appareil habité y différera considérablement²⁶. L'endurance de l'appareil du SATP sera donc grandement supérieure à celle de l'AMC.

Les divergences entre les rôles principaux du SATP et de l'AMC sont accentuées par certaines exigences liées aux armements. L'appareil télépiloté devra avoir des armes capables de frapper des cibles au sol et à la surface de l'eau, mais rien n'est prévu pour atteindre des cibles sous-marines²⁷. Par contre, le cadre des capacités interarmées du projet d'AMC insiste sur le domaine maritime en notant que l'appareil habité devra « mener des tirs interarmées²⁸ » dans l'environnement terrestre, mais « mener des attaques offensives²⁹ » à la surface et sous la surface de l'eau. Cette disparité dans la nomenclature utilisée suggère que les équipages de l'AMC pourront contribuer à certains éléments des attaques au sol, mais qu'ils seront capables de compléter l'entièreté de la chaîne de destruction dans le domaine maritime. Tout laisse penser que les nouveaux drones MALE des Forces armées canadiennes (FAC) seront capables d'identifier, de cibler et d'attaquer des objectifs sur la terre ferme et que les appareils de l'AMC pourront le faire pour les sous-marins. Chaque système aura sa spécialité, mais pourra interagir de façon limitée dans le domaine de spécialisation de l'autre.

²⁶ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 2.

²⁷ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 74.

²⁸ « Conduct joint fires » traduit par l'auteur et provenant de Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 8.

²⁹ « Conduct offensive [...] attacks » traduit par l'auteur. *Ibid.*, p. 8-9.

Autre élément distinctif : l'équipe de projet du SATP a décidé que tout signal de contrôle de l'appareil télépiloté passera par des satellites³⁰. La décision d'éliminer le contrôle avec un lien direct entre la cabine de pilotage et l'appareil en vol comporte certains dangers, dont il sera question plus bas, et présente une différence marquée entre les deux projets. Dans le cas de l'AMC, le besoin de communications satellites pour contrôler la plateforme n'est pas d'une nécessité absolue³¹. Par contre, le projet planifie de contribuer à la vision stratégique des FAC dont un des éléments est « [d']étendre les capacités des plateformes de surveillance et de reconnaissance au-delà de la portée optique³² ». L'AMC pourrait donc avoir des communications satellites pour transférer les données de ses senseurs et recevoir les informations du reste de la force interarmées, mais cet appareil pourra quand même agir dans des contextes où les communications seront dégradées. Plusieurs scénarios peuvent mener à des opérations sans communication satellite, en particulier l'éventualité d'une attaque directe sur des plateformes spatiales dans un conflit entre grandes puissances. La Chine a démontré être capable de détruire un satellite en 2007³³. Il serait donc logique de penser que la disponibilité de tels outils de communications n'est pas garantie dans l'entièreté du spectre des conflits³⁴. Cette pensée semble être acceptée par la marine américaine, car « à la base, les équipages [des appareils multission P8 Poséidon] s'entraînent à travailler dans des environnements avec des [communications] satellites dégradées³⁵ ». La perte des communications par

³⁰ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 20.

³¹ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 33.

³² Traduit par l'auteur. *Ibid.*, p. 9.

³³ États-Unis. Joint Chiefs of Staff, *Space Operations*, JP3-14, Washington, D.C., Joint Chiefs of Staff, 2018, p. I- 12.

³⁴ Le spectre des conflits est décrit dans Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 2.

³⁵ Traduit par l'auteur. Robbin Laird, *Triton Joins Poseidon in Forging a 21st Century Maritime Combat Capability: Operating a Dyad, Rather than a Single Platform*, 2016, <https://sldinfo.com/2016/06/triton->

satellite engendrerait un impact direct et dévastateur sur les opérations envisagées dans le cadre du SATP, mais ne dégraderait que partiellement les capacités des équipages d'un futur AMC.

Selon le document d'information du contexte stratégique du projet d'AMC, le nouvel appareil habité de patrouille des FAC sera « optimisé pour le C4ISR³⁶, la LASM et la [lutte antinavire] LAN³⁷ ». Il a déjà été établi que l'appareil du SATP accomplira des opérations de renseignement, une composante du C4ISR, et frappera des cibles à la surface de l'eau. L'énoncé des besoins du SATP ne mentionne toutefois pas l'exigence de mener à bien les étapes de la LASM, soit la recherche, la localisation, le suivi et l'attaque de sous-marins³⁸. En ce qui a trait aux capacités opérationnelles des deux plateformes, cette mission primordiale qu'aura l'AMC de trouver et de cibler les véhicules sous-marins partout dans la ZR canadienne et dans le monde entier en fera un engin unique au Canada après la mise hors service de l'Aurora. Si les caractéristiques de l'AMC seront comparables à celles du CP140, aucune des autres plateformes de LASM des FAC ne peut opérer aussi loin et aussi rapidement. L'hélicoptère Cyclone atteint une vitesse maximale d'environ la moitié de celle de l'Aurora, possède un rayon d'action dix fois moindre et le succès de ses opérations s'appuie sur le soutien d'un navire de la Marine

joins-poseidon-in-forging-a-21st-century-maritime-combat-capability-operating-a-dyad-rather-than-a-single-platform/, consulté le 24 mars 2020.

³⁶ Terme accepté en français et désignant « commandement, contrôle, communications, informatique, renseignement, surveillance et reconnaissance » selon Travaux publics et Services gouvernementaux Canada Gouvernement du Canada, « c4isr [1 fiche] - TERMIUM Plus® — Recherche - TERMIUM Plus® », 2009, https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&srchtxt=c4isr&index=alt&codom2nd_wet=1#resultres, consulté le 11 avril 2020.

³⁷ Traduit par l'auteur. Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 2.

³⁸ Ici, la réattaque des sous-marins est incluse dans l'étape *attaque*. William Perkins, *Alliance Airborne Anti-Submarine Warfare*, Kalkar, Joint Air Power Competence Centre (JAPCC), 2016, p. 101.

canadienne³⁹. Ces navires, les frégates de classe Halifax, ont une endurance et un rayon d'action relativement étendus, mais une vitesse dix fois moindre que celle de l'Aurora⁴⁰. Les frégates peuvent aussi être ciblées plus facilement par les sous-marins ce qui rend leur utilisation moins avantageuse. La prochaine génération de drones canadiens ne participera pas directement à la LASM. Car comme le dit le Maj Freeman dans une dissertation sur le remplacement des appareils de patrouille maritime, les drones capables de transporter bouées et torpilles, nécessaires dans la LASM, sont encore en développement et ne peuvent en transporter des quantités suffisantes pour l'entièreté de leur mission. Il conclut en notant que « ce concept rend nul l'avantage fondamental des [appareils télépilotes] ATP par rapport aux appareils habités, celui de l'endurance extrême⁴¹ ». L'avion multimission de l'ARC aura donc comme avantage opérationnel distinct au sein des FAC d'être capable de compléter toutes les étapes de la LASM à des distances considérables sans nécessiter le soutien d'un navire.

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, le SATP s'intégrera dans le projet de C4ISR de l'Aviation canadienne⁴². Par conséquent, cette plateforme contribuera non seulement aux besoins en renseignement, en surveillance et en reconnaissance des FAC mais aussi aux relais de communication si précieux dans ces domaines⁴³. Par contre, les équipages du SATP ne sont pas actuellement destinés à accomplir une tâche plus

³⁹ Le CP140 Aurora a une vitesse maximale limitée à 300 nœuds (405 nœuds originellement) et un rayon d'action d'environ 4 000 nm. Défense nationale Gouvernement du Canada, « CH-148 Cyclone | Aircraft | Royal Canadian Air Force », 2013b, <http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/en/aircraft-current/ch-148.page>, consulté le 11 avril 2020.

⁴⁰ Défense nationale Gouvernement du Canada, « Frigates | Fleet & Units | Royal Canadian Navy », 2013c, <http://www.navy-marine.forces.gc.ca/en/fleet-units/frigates-home.page>, consulté le 11 avril 2020.

⁴¹ Traduit par l'auteur. Ross Freeman, « The Aurora Replacement: The Viability of Drones as Maritime Patrol Aircraft », *Travail rédigé dans le cadre de l'exercice Solo Flight*, 2018, p. 16.

⁴² Canada. Ministère de la Défense nationale, *The Royal Canadian Air Force C4ISR Concept*, Ottawa, Aviation royale canadienne, 2017b, p. 14- 20.

⁴³ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 30- 31.

active dans le commandement et le contrôle (C2) d'autres ressources. Il est vrai que, par nécessité, cette fonction pourrait se manifester naturellement pendant les opérations, mais elle ne semble pas être explicitement mentionnée dans les divers documents du projet. En revanche, l'AMC devra nécessairement y contribuer activement, même si ce n'est que lorsque cette unité n'assumera le commandement de la zone de contact (SAC) pendant les missions de LASM⁴⁴. De plus, l'Aurora que remplacera l'AMC a déjà été utilisé comme unité de coordination des opérations offensives et de reconnaissance armée (COORA), comme pendant l'opération *Mobile*, devenant du coup un élément clé de la chaîne de C2⁴⁵. Il y a plusieurs avantages à l'utilisation de l'AMC plutôt que du SATP dans un rôle plus direct de C2. La présence, dans la zone d'opérations, d'officiers ayant les bonnes compétences et le bon niveau d'autorité⁴⁶ permet une prise de décision rapide en toute connaissance de la situation sur le terrain. Il s'agit d'un pas de plus dans la direction d'une application du modèle de pouvoir en périphérie⁴⁷ d'Alberts et Hayes dans lequel l'efficacité opérationnelle est améliorée en « donnant le pouvoir aux individus à l'extrémité de l'organisation (où l'organisation interagit avec l'environnement opérationnel dans le but d'y avoir un impact ou d'y créer un effet)⁴⁸ ». Même s'ils sont physiquement éloignés des zones opérationnelles, les équipages du SATP répondent à la

⁴⁴ Dans son document d'explication des exercices de LASM, l'OTAN exprime la nécessité qu'une unité aérienne prenne le contrôle tactique d'autres unités pour poursuivre le combat. Les équipages prennent donc une part active et directe dans les fonctions de C2 en étant assignés ou en devenant automatiquement SAC. NATO, *Multi-National Submarine and Anti-Submarine Exercise Manual*, Bruxelles, MXP-1(D)(NAVY)(AIR), NATO Standardization Agency, 2002, p. 3-B1-1, Glossary-4.

⁴⁵ L'opération *Mobile* n'est qu'un exemple bien répertorié. Alan Lockerby, « Un COORA au-dessus de la Lybie - à la guerre à bord d'un Aurora », *Revue militaire canadienne*, 12, 3 (2012), p. 63.

⁴⁶ Tel que modélisé par Pigeau et McCann ([voir la représentation 3d](#)) dans Ross Pigeau et Carol McCann, « Une nouvelle conceptualisation du commandement et du contrôle », *Revue militaire canadienne*, 3, 1 (2002), p. 59.

⁴⁷ Traduit par l'auteur « *Power to the Edge* ».

⁴⁸ Traduit par l'auteur. David S. Alberts et Richard E. Hayes, *Power to the edge: command, control in the information age*, Washington, DC, CCRP Publication Series, 2003, p. 5.

définition d'*individus à l'extrémité*, car ils interagissent avec l'environnement opérationnel par l'entremise des drones. Cependant, leur utilisation directe dans la chaîne de C2 peut poser quelques problèmes. Comme l'affirme le *flottillenadmiral* Thomas Ernst, commandant de la branche aéronavale de l'OTAN, « la dégradation des communications due au fait que notre adversaire empêche l'utilisation efficace et efficiente du spectre électromagnétique⁴⁹ » est l'une des réalités qui affecteront les forces armées. L'effet de la perte de communications avec les unités dans une zone d'opérations est particulièrement grave pour des SATP. Ernst poursuit en notant que :

La plupart des unités aériennes [habitées] sont équipées de radio(s) à haute fréquence (HF), qui sont plus difficiles à bloquer et brouiller que les communications sur des fréquences plus élevées. Ceci aidera dans des situations où l'environnement de GE⁵⁰ est détérioré. Aussi, l'autonomie innée avec laquelle plusieurs opérations aéronavales sont effectuées diminue le besoin de communiquer fréquemment avec les autres unités. Ceci veut dire que le personnel navigant trouvera les stratégies et les tactiques atténuantes pour exécuter les opérations aéronavales sans tabler sur les communications avec d'autres unités ou des éléments de commandement sur la terre ferme.⁵¹

Les caractéristiques propres à ce type de plateformes généralement aéronavales, comme le CP140, leur permettant d'utiliser plusieurs types de communications et d'opérer avec beaucoup d'autonomie, en font de parfaites plateformes de C2 au sein d'un système de C4ISR.

Chacun des deux projets étudiés apporte donc des éléments essentiels au soutien des exigences de PSE. Le SATP répondra directement aux initiatives 50 et 91 de cette politique de la défense soit « [d'] investir dans des véhicules aériens télépilotes de

⁴⁹ Traduit par l'auteur. NATO. Joint Air Power Competence Centre, « Agile Command and Control in a Degraded Environment », *Joint Air Power Competence Centre*, <https://www.japcc.org/agile-command-control-degraded-environment/>, consulté le 12 avril 2020.

⁵⁰ Guerre électronique.

⁵¹ Traduit par l'auteur. NATO. Joint Air Power Competence Centre, *op. cit.*

moyenne altitude⁵² » et que ce système télépiloté en soit un « armé capable de mener des opérations de surveillance et des frappes de précision⁵³ ». Ce projet mènera donc à l'achat d'un drone armé MALE avec tous les avantages et inconvénients mentionnés précédemment. L'AMC, quant à lui, contribuera à plusieurs demandes de la politique, dont l'initiative 49, celle de remplacer l'appareil CP140⁵⁴, ainsi que le respect des engagements canadiens vis-à-vis l'OTAN⁵⁵. Le projet de l'AMC a donc comme particularité principale d'être capable de mener la LASM, ce qui concorde avec l'annonce du 15 février 2018 dans laquelle le Canada se joint à sept autres membres de l'OTAN pour « développer la prochaine génération d'avion multimissions maritime⁵⁶ ». De toute évidence, il semble difficile d'incorporer toutes les capacités opérationnelles désirées dans un seul et unique appareil. Certes, le simple fait d'avoir deux projets d'appareils de RSR augmente le coût total dû au dédoublement du personnel, de l'infrastructure et des ressources. À elle seule, la capacité de LASM peut facilement faire doubler le coût d'un appareil⁵⁷. Malgré cette nécessité d'acquérir deux plateformes, il sera donc important pour les FAC de comprendre comment maximiser les atouts de chacune d'elles tout en optimisant leur utilisation.

LES ÉLÉMENTS SIMILAIRES ET COMPLÉMENTAIRES

Les deux programmes d'acquisition fourniront à l'ARC des plateformes ayant des capacités opérationnelles uniques, mais d'autres capacités seront similaires, voire

⁵² Initiative 50 : Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2017a, p. 109.

⁵³ Initiative 91 : *Ibid.*, p. 112.

⁵⁴ *Ibid.*, p. 109.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 17.

⁵⁶ Traduit par l'auteur. NATO, « Canada and Poland join six NATO Allies in developing next-generation maritime multi mission aircraft », *NATO*, http://www.nato.int/cps/en/natohq/news_152066.htm, consulté le 13 avril 2020.

⁵⁷ Ian Huddleston, *op. cit.*, 2009, p. 80.

identiques. Pourquoi avoir alors opté précisément pour ces deux projets ? Le capitaine William Perkins de la Marine américaine explique que le principe qui sous-tend la famille de systèmes⁵⁸ en est un de point de vue et de maximisation des ressources. Il explique dans le cas du RSR que l'on passe ainsi « d'une vision centrée sur la plateforme à une vision axée sur la répartition des moyens parmi de multiples plateformes⁵⁹ ». En utilisant cette nouvelle perspective, le fait d'avoir un dédoublement de capacités n'est pas un gaspillage de ressources pourvu qu'il soutienne la politique de la Défense et les objectifs stratégiques. Dans le cas de l'ARC, ce dédoublement doit donc répondre aux demandes de PSE, en particulier celles des *missions principales que doivent entreprendre les FAC et des opérations simultanées*⁶⁰.

En ce qui a trait aux tâches similaires remplies par l'AMC et le SATP, une part importante concerne celles de la patrouille maritime. En effet, le concept d'opérations du SATP comprend les rôles d'opérations d'interdiction maritime (MIO)⁶¹ et de surveillance des approches maritimes⁶². Les références aux patrouilles maritimes menées par le SATP telles que publiées dans les divers documents liés au projet⁶³ s'amalgament souvent aux autres tâches de RSR dont celles au-dessus de la terre ferme. En examinant les exigences des différents systèmes de la plateforme, il est possible de comprendre plus précisément ce que devrait être le rôle de cet appareil. Plusieurs normes relatives aux senseurs sont

⁵⁸ Le capitaine Perkins utilise *famille de système* qui correspond bien au terme *système de systèmes* utilisé dans la politique de la Défense, PSE.

⁵⁹ Traduit par l'auteur. Captain William A. Perkins, *Enabling Maritime ISR through the 'Family of Systems'*, 2017, <https://www.japcc.org/enabling-maritime-isr-through-the-family-of-systems/>, consulté le 24 mars 2020.

⁶⁰ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2017a, p. 17.

⁶¹ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 7-8.

⁶² *Ibid.*, p. 9-11.

⁶³ Parmi ces documents : *Concept of Operations (CONOPS): Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)*, *Current Statement of Requirements Remotely Piloted Aircraft System*, *Statement of Operating Intent (SOI) for the Definition Phase: Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) Project*.

généralisées et peuvent être appliquées au-dessus du sol ou de la mer de façon similaire. C'est le cas des senseurs opérant dans les domaines du spectre électromagnétique, des communications et de l'imagerie dont les caractéristiques de bases répondent aux normes de l'OTAN⁶⁴. En revanche, les exigences liées au mode maritime du futur radar à bord du SATP sont très précises⁶⁵ et s'apparentent aux capacités actuelles du radar APS-508 installé à bord du CP140⁶⁶. Ces exigences laissent penser que le SATP sera en mesure de patrouiller sur les surfaces des océans avec ses senseurs.

En ce qui concerne l'AMC dans un contexte maritime, l'appareil devra être capable d'assurer des opérations de LASM, de LAN et de souveraineté⁶⁷. Dans la mesure où cet appareil est amené à remplacer le CP140, il est normal de croire que ses senseurs auront des capacités similaires, mais améliorées, à celles des capteurs installés à bord de l'Aurora, dont le radar APS-508. Comme déjà mentionnée, la grande différence dans le domaine maritime entre les deux appareils sera donc la capacité de l'AMC à combattre les plateformes sous-marines. Qu'elles soient en soutien à une flotte navale ou menées indépendamment, ces missions de combat ont un profil de vol⁶⁸ comprenant une proportion élevée de temps passé à basse altitude et parsemé de manœuvres agressives⁶⁹. Un des inconvénients de ce profil est le besoin constant de changer l'altitude de l'appareil

⁶⁴ L'énoncé des besoins du SATP fait appel à plusieurs normes de l'OTAN et de l'industrie, mais en particulier au STANAG 7023 qui énonce les règles à utiliser pour les données visuelles des plateformes aériennes de RSR. Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. R-M-PLD-007 ; NATO. NATO Standardization Office (NSO), *Standardization Agreement (STANAG) 7023: Air Reconnaissance Primary Imagery Data Standard*, Bruxelles, NATO Standardization Office (NSO), 2016, p. 2.

⁶⁵ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 64.

⁶⁶ Telephonics, « Telephonics | APS-143G & AN/APS-508 ISR Radar », *Telephonics*, <https://www.telephonics.com/product/aps-143g-an-aps-508>, consulté le 14 avril 2020.

⁶⁷ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 3-4.

⁶⁸ Soit le temps passé à différentes altitudes et à exécuter différentes manœuvres.

⁶⁹ Affirmation basée sur les 13 années d'expérience de l'auteur au sein d'une flotte de patrouille canadienne.

pour mettre à jour le tableau de la situation maritime (RMP - où se situent les vaisseaux de surface hostiles, amis et neutres) dû à diminution de la ligne de vision⁷⁰ à basse altitude. Ces changements d'altitude et les manœuvres agressives augmentent, entre autres, la consommation en carburant, diminuant ainsi l'endurance de l'appareil.

Naturellement, pour maximiser le système de systèmes, un SATP pourrait maintenir le RMP permettant à un AMC de continuer la LASM. La figure 1 représente un drone à 25 000 pieds poursuivant le RMP pendant qu'un avion de patrouille, à environ 300 pieds, chasse un sous-marin dans l'Arctique canadien. Dans cette figure, le cercle bleu dénote la ligne de vision d'un drone avec un radar permettant une recherche tous azimuts⁷¹. La forme verte dénote la ligne de vision d'un radar de type APS-508. En considérant les effets de la hauteur du mât d'un navire et de la courbure des ondes électromagnétiques autour de la Terre, nous pouvons calculer qu'un radar à 25 000 pieds pourrait capter un navire à environ 239 NM et un radar à 300 pieds pourrait capter le même navire à 35 NM⁷². Cette différence peut en être une de vie ou de mort pour un équipage de patrouille. Ceci n'est qu'un exemple d'utilisation d'une combinaison d'un drone et d'un appareil AMC maximisant les capacités de chacun. La présence d'un drone à haute altitude dans une telle situation permettrait aussi le maintien du RMP même s'il y a une interruption dans la couverture offerte par les appareils AMC.

⁷⁰ Distance en ligne droite entre un émetteur (réflexion ou émission de lumière ou autre onde électromagnétique) et un récepteur (yeux, antenne ou autre récepteur de senseur). La ligne de vision maximale au-dessus de l'océan s'étend habituellement jusqu'à l'horizon.

⁷¹ Comme celui du SeaGuardian, une version maritime du drone MALE Predator B. General Atomics Aeronautical Systems, Inc, « Multi-Role - Single-Solution : Certifiable Predator B », 2017, p. 1.

⁷² Voir l'annexe a.

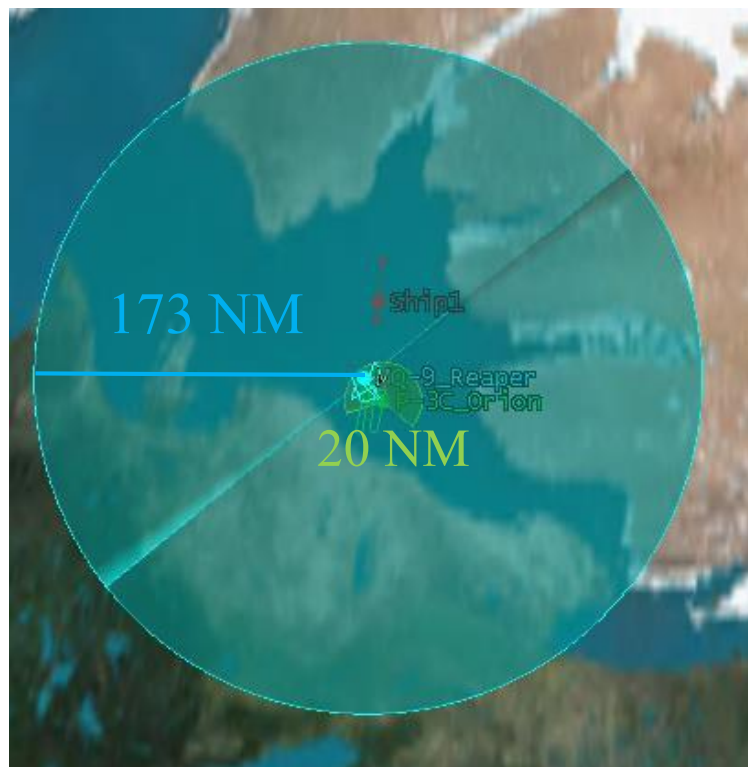


figure 1 — [Ligne de vision simulée d'un drone MQ-9 et d'un avion de patrouille P-3C](#)

Au terme de leur développement, les deux systèmes seront amenés à accomplir davantage de tâches similaires. C'est le cas pour les fonctions de recherche et sauvetage, de relais de communications et de RSR au-dessus de la terre ferme⁷³ ainsi que de la capacité de déploiement rapide partout sur le globe⁷⁴. Tout comme dans le cas de la patrouille maritime, chaque plateforme aura des qualités spécifiques que son équipage pourra mettre à contribution pour accomplir la mission assignée. Par exemple, le SATP devrait avoir une endurance enviable et l'AMC pourra opérer dans les zones où l'accès au spectre électromagnétique est dégradé. Elles pourront travailler de concert pour remplir les missions principales de la politique de la Défense telles que « Détecter et dissuader les

⁷³ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 30-31 ; Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 3.

⁷⁴ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 34 ; Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 3.

menaces ou les attaques visant le Canada et s'en défendre⁷⁵ » en mettant à profit les forces de chaque appareil pour atteindre les mêmes objectifs. Mais le commandant de la composante aérienne de la force interarmées pourra choisir de déployer un système outre-mer, délaissant ses missions courantes, puis utiliser l'autre système pour accomplir ces missions abandonnées. Par exemple, un détachement d'AMC pourrait aider à « respecter [les] engagements [des FAC] auprès des alliés de l'OTAN⁷⁶ » en déployant en soutien à une mission de LASM et les appareils de SATP pourraient maintenir leurs trois lignes d'opérations⁷⁷ au Canada pour remplacer les ressources déployées. Ce scénario permet de maximiser les systèmes pour répondre à la demande d'*opérations simultanées* qui se trouve dans PSE.

ÉLÉMENTS PARTAGÉS

En plus d'avoir plusieurs tâches communes ou complémentaires, les projets de SATP et d'AMC devront partager certaines ressources puisqu'elles ne sont pas illimitées. Toutefois, ce partage peut s'avérer avantageux aux plans logistique et financier. Puisque le processus d'acquisition d'un système final d'AMC n'est pas aussi avancé⁷⁸, il s'avère particulièrement important pour les membres de ce projet de comprendre quels éléments du SATP leur seront nécessaires. Ils pourront conséquemment influencer la mouture finale du SATP ou adapter leur propre projet. Les méthodes de *traitement, exploitation et dissémination* (TED), le personnel et les bases d'opérations forment une partie importante des assises partagées. Ces trois éléments ont des liens directs avec chaque projet et entre eux.

⁷⁵ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2017a, p. 17.

⁷⁶ *Ibid.*, p. 17.

⁷⁷ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020b, p. 9-11.

⁷⁸ Défense nationale Gouvernement du Canada, *op. cit.*, 2018 ; Défense nationale, *op. cit.*, 2019.

Centraliser et maximiser les services de TED de l'ARC sont des besoins cruciaux dont l'importance ne cesse d'augmenter. Selon le centre de réflexion *Booze, Allen, Hamilton*, la gestion de données provenant de senseurs, souvent multiples, présente de nombreuses difficultés. De plus et encore selon cette firme, « [p]uisqu'une bonne partie de cette technologie a été obtenue [...] par des programmes d'acquisition séparés, l'information est entreposée dans plusieurs entrepôts individuels [...] plaçant ces renseignements dans des silos⁷⁹ ». Avec des séquences vidéo et des données numériques provenant de multiples senseurs tout au long de missions prolongées⁸⁰, il est normal que la capacité de TED fasse partie du projet du SATP. En effet, sans centre capable d'accomplir les fonctions TED, les informations cumulées par les senseurs de l'appareil resteraient sur les disques durs de l'unité du SATP et deviendraient inutilisables par les commandants en quête d'informations. Dès 2017, le concept d'opérations du TED SATP voulait que cette capacité opérationnelle « devienne la contribution de l'ARC au concept plus grand et combiné du TED des FAC⁸¹ ». L'objectif étant de standardiser les méthodes TED utilisées par l'ARC, cette capacité devait être « indépendante de la plateforme⁸² » et capable de soutenir les autres appareils de l'aviation. Lors de la publication du document de *concept d'opérations du SATP*, le projet de TED s'est vu plus restreint, mais retient les éléments principaux de 2017⁸³. Les senseurs et les missions du futur AMC étant similaires à ceux du SATP, il est normal de croire que le TED du SATP comporterait déjà

⁷⁹ Traduit par l'auteur. Jeff Kimmons et Graham Gilmer, « Remaking Intelligence Processing, Exploitation and Dissemination », 2019, p. 3.

⁸⁰ Plusieurs des senseurs du SATP ont déjà été mentionnés auparavant. Ils incluent une caméra électro-optique et infrarouge (EO/IR), un radar et un système de mesure de surveillance électronique (MSE) entre autres. L'endurance de l'appareil, comme discuté, n'est pas encore bien définie, mais elle devrait dépasser celle des appareils de RSR actuels de l'ARC. Voir : Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*

⁸¹ Traduit par l'auteur. C. Bailey, *Initial Concept Document Remotely Piloted Aircraft System Processing, Exploitation, Dissemination (RPAS PED) Concept*, Ottawa, Ministère de la Défense nationale, 2017, p. 10.

⁸² Traduit par l'auteur. *Ibid.*, p. 6.

⁸³ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 49- 50.

le personnel et la technologie nécessaire à la réception et la diffusion des données recueillies par l'appareil habité. Le projet du AMC devra en tenir compte, car il pourrait s'avérer difficile de trouver le personnel nécessaire (déjà en forte demande et peu abondant⁸⁴) à la mise en place d'un centre TED séparé.

En plus d'un centre d'analyse des renseignements, les bases d'opérations du SATP et de l'AMC pourraient être partagées. Les appareils habités seront hébergés à la 19^e escadre à Comox, en Colombie-Britannique, et à la 14^e escadre à Greenwood, en Nouvelle-Écosse⁸⁵. Les plans actuels permettent de croire que deux escadres actuelles de l'ARC seront utilisées comme bases principales pour les drones du SATP, soit une dans l'Ouest canadien et une dans l'Est canadien⁸⁶. Le drone MALE envisagé pour l'ARC devra pouvoir décoller et d'atterrir sur une piste de 8 000 pieds avec une pression atmosphérique maximale de 7 500 pieds et un vent transversal inférieur ou égal à 15 nœuds⁸⁷. Les pistes principales des deux bases prévues par le projet de l'AMC et qui sont utilisées par les appareils CP140 répondent aux critères du SATP. Une synthèse des données de vent depuis 1955 ainsi que les dernières cartes des aérodrômes de Comox et de Greenwood, présentées dans l'annexe b, démontrent bien que les drones du SATP pourraient y opérer. Puisque plusieurs senseurs de l'AMC et du SATP seront similaires et répondront aux mêmes normes, il pourrait être avantageux de baser les appareils aux mêmes escadres. Ceci ne constitue toutefois pas une raison d'installer les équipages à ces endroits. Ils gagneraient à être regroupés et près de leur centre de TED qui lui sera à Ottawa.

⁸⁴ C. Bailey, *op. cit.*, 2017, p. 7.

⁸⁵ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 2.

⁸⁶ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 38.

⁸⁷ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 52.

La capacité opérationnelle de TED et les bases d'opérations principales des appareils aériens ne sont que deux éléments parmi d'autres qui pourraient être partagés entre les deux projets étudiés. D'autres ressources, tels les systèmes de communications par satellite, les plans d'entraînement des équipages et des techniciens ainsi que les services de soutien dans le cadre des déploiements, pourront aussi être amalgamées pour maximiser leurs atouts. Encore une fois, le projet du SATP étant plus avancé, le personnel travaillant sur l'acquisition de l'AMC devra incorporer et bonifier les capacités opérationnelles déjà obtenues.

ÉLÉMENT REQUIS ET RECOMMANDATIONS

Afin de maximiser les effets de la synergie des deux plateformes en soutien aux objectifs de PSE, certains éléments doivent être mis en place. Une fois les deux programmes établis, l'interaction qui en découlera contribuera à améliorer le rendement du système de systèmes pourvu qu'elle soit planifiée et intégrée aux projets en cours. Les recommandations peuvent être séparées en trois grandes catégories interreliées : l'infrastructure, les opérations et le personnel.

Infrastructure

L'une des grandes vulnérabilités du SATP est son utilisation exclusive des systèmes de communications par satellite. En effet, les satellites considérés pour assurer le relais sont soit en orbites polaires pour maintenir les communications avec les drones au nord du 65^e parallèle, soit en orbite géostationnaire (GEO) pour les autres opérations⁸⁸. Le retard des commandes et la perte du relais spatial représentent quelques effets négatifs de cette utilisation exclusive de satellites pour contrôler les appareils du SATP. Le délai

⁸⁸ Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 20- 21.

de transmission par satellite en orbite géosynchrone⁸⁹ entre une station située à Ottawa et un drone volant à une latitude similaire est d'environ ¼ de seconde⁹⁰. Ceci peut sembler mineur, mais le résultat ne suppose aucun relais entre satellites ou entre centres de contrôle ni délai de traitement par les systèmes au sol et dans l'espace qui peuvent grandement augmenter les retards. Lorsqu'ajouté au temps de réaction d'un opérateur entraîné⁹¹, il est facile d'imaginer un opérateur de senseur perdre sa cible et devoir recommencer le processus d'acquisition.

Plus grave encore pour la mission d'un équipage de SATP, la perte complète du signal entre le drone et le centre de contrôle mènerait à la fin prématurée de la mission en cours. La capacité de la Chine de cibler des satellites a déjà été évoquée et il est possible pour des États d'atteindre les satellites les plus éloignés, ceux en GEO⁹². Il ne faut pas oublier l'effet Kessler qui prévoit que la destruction d'un objet en orbite enverrait des milliers de fragments qui pourraient détruire d'autres satellites dans des orbites avoisinantes rendant plusieurs altitudes orbitales inutilisables. « Cet effet serait particulièrement accentué si [une arme antisatellite] venait à toucher un satellite en orbite [...] GEO, car les débris ne seraient pas freinés par l'atmosphère et resteraient donc en

⁸⁹ L'altitude utilisée est de 35 780 km selon NASA, « Catalog of Earth Satellite Orbits », NASA Earth Observatory, 2009, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog>, consulté le 20 avril 2020.

⁹⁰ En utilisant des formules trigonométriques de base, il est possible de calculer ce temps de transmission.

La formule résultante est :
$$\Delta t = \frac{2 \sqrt{(\sin \phi_o + \sin \phi_t)^2 + \left(\frac{\sin \phi_o \sin \phi_t}{\tan \phi_c} \right)^2}}{c} + \frac{(\sin \phi_o + \sin \phi_t)}{c}$$
 où ϕ_c est la latitude du centre de

contrôle (environ 45°N). R est le rayon moyen de la Terre (environ 6 371 km), ϕ_o est l'altitude orbitale géosynchrone (environ 35 780 km) et ϕ_t est la vitesse de la lumière (299 792 458 km/s).

⁹¹ Le temps de réaction d'un pilote entraîné à réagir dans une situation nécessitant son attention immédiate pour maintenir son appareil en sécurité est accepté comme étant jusqu'à 5 secondes si l'on se fie aux normes et règlements entourant les systèmes anticollision. Voir : EUROCONTROL, *ACAS Guide Airborne Collision Avoidance*, Bruxelles, The European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), 2017, p. 62.

⁹² Matthew T. King et Laurie R. Blank, « International Law and Security in Outer Space: Now and Tomorrow », *AJIL Unbound*, 113, (2019), p. 127.

orbite indéfiniment.⁹³ » Mais les satellites et leurs signaux peuvent aussi être affectés par plusieurs autres phénomènes naturels ou artificiels, dont les cyberattaques, l'éblouissement par laser, les effets du Soleil et les débris dans l'espace⁹⁴. L'environnement spatial est dangereux et il est possible d'empêcher son utilisation par mégarde ou par dessein.

Une première recommandation ressort donc de l'analyse de ces deux problèmes liés à l'utilisation des satellites. Il pourrait être avantageux pour les drones du SATP d'avoir la possibilité d'être contrôlés directement à partir des postes d'équipage de l'AMC. Le retard de communications serait réellement négligeable⁹⁵ en diminuant grandement la distance entre le drone et son contrôleur. Mais le grand avantage serait de pouvoir sauver une mission quand aucune communication par satellite n'est possible⁹⁶. Le désavantage de ce scénario demeure la nécessité soit d'entraîner des membres d'équipages des AMC à contrôler des drones du SATP ou d'assigner des équipages de drones aux missions des appareils habités. Ces effets néfastes pourraient être atténués en n'entraînant les équipages de patrouille que dans les fonctions de bases ou en choisissant avec soin les missions auxquelles des membres du SATP seraient assignées aux appareils multimitations.

⁹³ Julien Letarte, *Droit, dangers, ressources : l'équilibre à atteindre pour protéger les capacités spatiales*, Toronto, Collège des Forces canadiennes, 2019, p. 6.

⁹⁴ *Ibid.*, p. 4-6.

⁹⁵ Dans l'ordre de 10² fois plus court en éliminant un relais satellite, mais considérablement plus court si le signal doit passer par plusieurs satellites ou par un ou plusieurs centres de contrôles au sol.

⁹⁶ Cette affirmation repose sur la supposition que le signal GPS sera disponible ou que le système de navigation interne décrit dans « Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2020a, p. 27. » et dont les exigences se trouvent sous « Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, p. 58. » soit assez précis pour continuer la mission sans signal GPS.

Opérations

Deuxièmement, puisque plusieurs missions des deux projets se révèlent similaires et compatibles, il serait important pour les équipages et le personnel de soutien de participer conjointement à certaines missions et à certains exercices. Le document de concept des opérations du SATP étant déjà écrit, il reviendra à ceux qui rédigeront celui du projet de l'AMC d'entrevoir les possibilités de coopération entre les deux projets. Il est certain que les exercices des missions adaptées à une des deux plateformes, mais non à l'autre, telle la LASM, pourraient ne pas valoir le coût de déploiement d'un second type d'appareil. En revanche, les exercices auxquels les deux plateformes gagneront à participer offriront des occasions synergiques qui permettront au personnel de tous les niveaux des deux groupes d'approfondir leurs connaissances. Comme l'affirme le vice-amiral Brooks de la marine américaine : « La combinaison MMA-BAMS/UAV offrira des plateformes avec possibilité de réassignations dynamiques, à des altitudes élevée/basse, à longue endurance et avec la capacité de compléter [l'entièreté] de la chaîne de destruction⁹⁷ ». L'effet escompté de l'emploi des deux plateformes lors de missions communes se résume donc bien à maximiser les avantages de chacune d'entre elles pour offrir une flexibilité opérationnelle accrue.

Personnel

Les deux projets nécessiteront des services du TED semblables, leurs missions viseront souvent les mêmes objectifs et leurs senseurs accumuleront des données

⁹⁷ Le MMA, *Multimission Maritime Aircraft*, est la version américaine de l'AMC ou du M3A, *Multi Mission Maritime Aircraft*, de l'OTAN et le BAMS/UAV, *Broad Area Maritime Surveillance*, est le drone de patrouille qui sera utilisé par la marine américaine. Traduction de l'auteur. R. E. Brooks, « The Multi-Mission Maritime Aircraft and Maritime Patrol and Reconnaissance Force Transformation », *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 24, (2003), p. 239.

similaires. Le personnel respectif de l'AMC et du SATP partageront donc plusieurs expertises et connaissances, sans avoir exactement le même entraînement. La dernière recommandation vise à répartir cette expérience tout en la maintenant au sein des deux flottes en mutant le personnel entre les unités de l'AMC et du SATP. Le concept utilisé par la marine américaine qui veut que le personnel, « après avoir servi avec la flotte [de P-8] mondialement, puisse se porter volontaire pour travailler sur la terre ferme⁹⁸ » pourrait être adapté aux réalités canadiennes. En plus de partager et d'élargir leur expérience des opérations de patrouille, le personnel désirant une stabilité dans leur vie pourrait opter pour une mutation demandant moins de voyages réguliers et leur permettant d'habiter une grande ville (Ottawa). La rétention du personnel des FAC est un problème connu⁹⁹ et l'importance d'une stabilité familiale avec possibilité de carrière pour le (la) conjoint(e) semble augmenter¹⁰⁰ en particulier aux yeux des nouvelles générations qui entrent sur le marché du travail¹⁰¹. Offrir la possibilité au personnel de première ligne de continuer à travailler dans une unité opérationnelle tout en maintenant un style de vie plus adapté aux nouvelles réalités permettrait peut-être une rétention du personnel dans des domaines clés.

Il est donc recommandé de permettre un contrôle direct des systèmes du SATP des stations de l'AMC, d'augmenter les interactions opérationnelles entre les deux plateformes et de promouvoir les affectations entre les unités du SATP et celles de l'AMC. Suivre ces suggestions soutiendrait directement plusieurs initiatives de la

⁹⁸ Traduction de l'auteur. Robbin Laird, *op. cit.*, 2016.

⁹⁹ Bureau du vérificateur général du Canada Gouvernement du Canada, « Report 5—Canadian Armed Forces Recruitment and Retention—National Defence », 2016, https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/parl_oag_201611_05_e_41834.html, consulté le 23 avril 2020.

¹⁰⁰ The Royal United Services Institute of Nova Scotia., « Recruiting and Retention in the Canadian Armed Forces - RUSI(NS) », <https://rusi-ns.ca/recruiting-and-retention-in-the-canadian-armed-forces/>, consulté le 23 avril 2020.

¹⁰¹ Eddy S. W. Ng, « Millennials and Public Service Renewal: Introduction On Millennials and Public Service Motivation (PSM) », 2016, p. 416.

politique de la défense du Canada. Les deux premières recommandations contribueraient à l'intégration des systèmes de RSR au sein du programme interarmées¹⁰² ainsi qu'à l'atteinte des *missions principales des Forces armées canadiennes* et des *opérations simultanées* mentionnées dans PSE¹⁰³. La troisième recommandation vise à aider à soutenir les initiatives cinq et six portant sur la rétention et les carrières du personnel des FAC¹⁰⁴. Ces liens à la politique en vigueur s'ajouteraient donc à ceux déjà établis par les projets de SATP et AMC.

CONCLUSION

Les deux prochains systèmes de RSR de l'ARC centrés sur des aéronefs armés progressent au travers des différentes étapes d'acquisition. Ils arboreront des caractéristiques uniques : l'un sera habité et capable de LASM tandis que l'autre sera télépilote et doté d'une endurance prolongée. Malgré tout, plusieurs de leurs sous-systèmes et de leurs tâches seront similaires comme l'utilisation de senseurs pour cibler les forces ennemies en mer et sur la terre ferme. Les ressources limitées en infrastructure et en personnel, en particulier les services de TED, devront être partagées. L'analyse de ses trois éléments a permis de confirmer l'importance d'intégrer certaines portions des deux projets pour atteindre les objectifs de la politique de défense du Canada.

La combinaison des deux systèmes indépendants de l'*appareil multimission canadien* et du *système d'aéronef télépilote* dans les contextes opérationnel et structurel permettra aux Forces armées canadiennes d'anticiper, de s'adapter, et d'agir. Une synergie pourra être atteinte en utilisant les deux plateformes de RSR de concert, soit au

¹⁰² Canada. Ministère de la Défense nationale, *op. cit.*, 2017a, p. 41,65.

¹⁰³ *Ibid.*, p. 17.

¹⁰⁴ *Ibid.*, p. 22.

cours des mêmes missions ou pour augmenter le nombre de missions possibles en maximisant leurs forces et en compensant leurs faiblesses. Les services de TED analyseront les informations recueillies et cette somme de renseignements contribuera aux réseaux collaboratifs des FAC menant à une meilleure anticipation « pour mieux comprendre les menaces et les défis¹⁰⁵ ». Une meilleure exploitation des systèmes, une flexibilité offerte au personnel et des idées novatrices permettront de s'adapter « à l'évolution du contexte¹⁰⁶ ». Enfin, cette synergie du système des systèmes rendra efficaces les actions de l'ARC « à l'appui des 8 missions principales¹⁰⁷ » des FAC.

Étant donné l'état d'avancement différent des deux projets, il se pourrait que l'AMC doive s'adapter aux réalités du SATP. Pour maximiser le peu de ressources disponibles en infrastructure et en personnel, le concept d'opérations du système qui remplacera le CP140 Aurora devra être conçu en tenant compte des résultats obtenus au cours du processus d'acquisition du drone MALE de l'ARC.

Cette réalité permettra sans doute un niveau d'innovation et de coopération permettant à l'ARC d'atteindre de nouveaux sommets en matière de connaissances de la situation. L'intégration des systèmes spatiaux et des nouveaux systèmes de communications au grand système de C4ISR liant non seulement l'aviation, mais tous les éléments des FAC devra, elle aussi, être précédée par une analyse de leurs capacités opérationnelles communes. L'affectation de la bonne plateforme à la bonne mission et la fusion efficace des produits de toutes les sources internes et externes seront nécessaires

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 63.

¹⁰⁶ *Ibid.*, p. 67.

¹⁰⁷ *Ibid.*, p. 81.

pour donner aux commandants l'information vitale en temps opportun pour prendre les bonnes decisions.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERTS, David S. et Richard E. HAYES. *Power to the edge: command, control in the information age*. Washington, DC, CCRP Publication Series, 2003, 259 p., Coll. Information age transformation series.
- BAILEY, C. *Initial Concept Document Remotely Piloted Aircraft System Processing, Exploitation, Dissemination (RPAS PED) Concept*. Ottawa, Ministère de la Défense nationale, 2017.
- BROOKS, R.E. « The Multi-Mission Maritime Aircraft and Maritime Patrol and Reconnaissance Force Transformation ». *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 24, (2003), p. 238-241.
- CANADA, Environnement et changement climatique. « Données historiques - Climat - environnement et changement climatique Canada ». 2011.
https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html, consulté le 19 avril 2020.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *CU170 Heron CONOPS*. 1^{re} édition. Ottawa, 2008, 35 p.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *Protection, sécurité, engagement - la politique de défense du Canada*. Ottawa, 2017a, 113 p.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *The Royal Canadian Air Force C4ISR Concept*. Ottawa, Aviation royale canadienne, 2017b, 45 p.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *Concept of Operations (CONOPS): Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)*. Ottawa, Ministère de la défense nationale, 2020a.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *Statement of Operating Intent (SOI) For the Definition Phase: Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) Project*. Ottawa, Ministère de la défense nationale, 2020b.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *Draft Strategic Context Document (SCD) Candian Multi-Mission Aircraft (CMMA)*. Ottawa.
- CANADA. MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE. *Current Statement of Requirements Remotely Piloted Aircraft System*. Ottawa, Ministère de la défense nationale.
- DÉFENSE NATIONALE. « Operation ATHENA ». 2013. <https://www.canada.ca/en/departement-national-defence/services/operations/military-operations/recently-completed/operation-athena.html>, consulté le 20 novembre 2019.
- DÉFENSE NATIONALE. « Current Operations List ». 2015.
<https://www.canada.ca/en/departement-national-defence/services/operations/military-operations/current-operations/list.html>, consulté le 2 avril 2020.
- DÉFENSE NATIONALE. « CP-140 Aurora fleet modernization and life extension ». 2018.
<https://www.canada.ca/en/departement-national-defence/services/procurement/cp-140-aurora.html>, consulté le 2 avril 2020.

- DÉFENSE NATIONALE. « Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) ». 2019. <https://www.canada.ca/en/department-national-defence/services/procurement/remotely-piloted-aircraft-system.html>, consulté le 2 avril 2020.
- ÉTATS-UNIS. AIR FORCE. « MQ-9 Reaper ». *U.S. Air Force*. <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/>, consulté le 6 avril 2020.
- ÉTATS-UNIS. JOINT CHIEFS OF STAFF. *Space Operations*. JP3-14, Washington, D.C., Joint Chiefs of Staff, 2018.
- EUROCONTROL. *ACAS Guide Airborne Collision Avoidance*. Bruxelles, The European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), 2017.
- FREEMAN, Ross. « The Aurora Replacement: The Viability of Drones as Maritime Patrol Aircraft ». *Travail rédigé dans le cadre de l'exercice Solo Flight*, 2018, p. 26.
- GENERAL ATOMICS AERONAUTICAL SYSTEMS, INC. « Multi-Role - Single-Solution : Certifiable Predator B ». 2017.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, Bureau du vérificateur général du Canada. « Report 5—Canadian Armed Forces Recruitment and Retention—National Defence ». 2016. https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/parl_oag_201611_05_e_41834.html, consulté le 23 avril 2020.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, Défense nationale. « CP-140 Aurora | Aéronefs | Aviation royale canadienne ». 2013a. <http://www.rcf-arc.forces.gc.ca/fr/aeronefs-courants/cp-140.page>, consulté le 6 avril 2020.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, Défense nationale. « CH-148 Cyclone | Aircraft | Royal Canadian Air Force ». 2013b. <http://www.rcf-arc.forces.gc.ca/en/aircraft-current/ch-148.page>, consulté le 11 avril 2020.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, Défense nationale. « Frigates | Fleet & Units | Royal Canadian Navy ». 2013c. <http://www.navy-marine.forces.gc.ca/en/fleet-units/frigates-home.page>, consulté le 11 avril 2020.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, Défense nationale. « Aéronef multimiSSIONS canadien - Programme des capacités de la Défense ». 2018. <http://dgpaapp.forces.gc.ca/fr/programme-capacites-defense/projet-details.asp?id=975>, consulté le 2 avril 2020.
- GOUVERNEMENT DU CANADA, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. « c4isr [1 fiche] - TERMIUM Plus® — Recherche - TERMIUM Plus® ». 2009. https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&srchtxt=c4isr&index=alt&codom2nd_wet=1#resultrecrecs, consulté le 11 avril 2020.

- HUDDLESTON, Ian. « Canada First? Defence Strategy and the Future Aerospace ISR 'System of Systems' ». Thèse, Toronto, Canadian Forces College, 2009, 101 p.
- KIMMONS, Jeff et Graham GILMER. « Remaking Intelligence Processing, Exploitation and Dissemination ». 2019.
- KING, Matthew T. et Laurie R. BLANK. « International Law and Security in Outer Space: Now and Tomorrow ». *AJIL Unbound*, 113, (2019), p. 125-129.
- LAIRD, Robbin. *Triton Joins Poseidon in Forging a 21st Century Maritime Combat Capability: Operating a Dyad, Rather than a Single Platform*. 2016.
<https://sldinfo.com/2016/06/triton-joins-poseidon-in-forging-a-21st-century-maritime-combat-capability-operating-a-dyad-rather-than-a-single-platform/>, consulté le 24 mars 2020.
- LETARTE, Julien. *Droit, dangers, ressources : l'équilibre à atteindre pour protéger les capacités spatiales*. Toronto, Collège des Forces canadiennes, 2019, Coll. Rédigé dans le cadre du cours DS545 Component Capabilities.
- LOCKERBY, Alan. « Un COORA au-dessus de la Lybie - à la guerre à bord d'un Aurora ». *Revue militaire canadienne*, 12, 3 (2012), p. 63-67.
- METS, David R. « RPAs: Revolution or Retrogression? » Thèse, Maxwell AFB, Alabama, Air Force Research Institute Papers, 2010, 31 p.
- NASA. « Catalog of Earth Satellite Orbits ». NASA Earth Observatory, 2009.
<https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog>, consulté le 20 avril 2020.
- NASA. « Earth Fact Sheet ». <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>, consulté le 15 avril 2020.
- NATO. *Multi-National Submarine and Anti-Submarine Exercise Manual*. Bruxelles, MXP-1(D)(NAVY)(AIR), NATO Standardization Agency, 2002, 360 p.
- NATO. « Canada and Poland join six NATO Allies in developing next-generation maritime multi mission aircraft ». *NATO*. http://www.nato.int/cps/en/natohq/news_152066.htm, consulté le 13 avril 2020.
- NATO. JOINT AIR POWER COMPETENCE CENTRE. « Agile Command and Control in a Degraded Environment ». *Joint Air Power Competence Centre*. <https://www.japcc.org/agile-command-control-degraded-environment/>, consulté le 12 avril 2020.
- NATO. NATO STANDARDIZATION OFFICE (NSO). *Standardization Agreement (STANAG) 7023: Air Reconnaissance Primary Imagery Data Standard*. Bruxelles, NATO Standardization Office (NSO), 2016, Coll. STANAG.
- NAV CANADA. *Cartes des aéroports canadiens 0901Z 26 mars 2020 au 0901Z 21 mai 2020*. NAV Canada. Ottawa, 2020, 704 p.

NG, Eddy S.W. « Millennials and Public Service Renewal: Introduction On Millennials and Public Service Motivation (PSM) ». 2016, p. 18.

PERKINS, Captain William A. *Enabling Maritime ISR through the 'Family of Systems'*. 2017.
<https://www.japcc.org/enabling-maritime-isr-through-the-family-of-systems/>, consulté le 24 mars 2020.

PERKINS, William. *Alliance Airborne Anti-Submarine Warfare*. Kalkar, Joint Air Power Competence Centre (JAPCC), 2016, 142 p.

PIGEAU, Ross et Carol MCCANN. « Une nouvelle conceptualisation du commandement et du contrôle ». *Revue militaire canadienne*, 3, 1 (2002), p. 53-64.

TELEPHONICS. « Telephonics | APS-143G & AN/APS-508 ISR Radar ». *Telephonics*.
<https://www.telephonics.com/product/aps-143g-an-aps-508>, consulté le 14 avril 2020.

THE ROYAL UNITED SERVICES INSTITUTE OF NOVA SCOTIA. « Recruiting and Retention in the Canadian Armed Forces - RUSI(NS) ». <https://rusi-ns.ca/recruiting-and-retention-in-the-canadian-armed-forces/>, consulté le 23 avril 2020.

« Radio Line of Sight Distance Calculator • Electrical, RF and Electronics Calculators • Μετατροπέας Μονάδων σε Απευθείας Σύνδεση (online) ». <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/el-GR/calculator/radio-line-of-sight/>, consulté le 15 avril 2020a.

« Admiral Ushakov (Kirov) Nuclear-Powered Battlecruiser Warship ». https://www.militaryfactory.com/ships/detail.asp?ship_id=Kirov-Battlecruiser-1980, consulté le 15 avril 2020b.

ANNEXE A

CALCULS DE LA DISTANCE MAXIMALE D'UTILISATION D'UN RADAR.

Plusieurs versions plus complexes de ces calculs sont disponibles sur le web et dans certains documents. En utilisant les suppositions énoncées plus bas, retrouver les distances approximatives des distances de détection de radars aéroportés devient simple. Il devient facile de démontrer qu'un radar juché en haute altitude peut percevoir un vaisseau ennemi pendant qu'un aéronef évolue sous l'horizon radar.

Suppositions :

- La puissance du système et les caractéristiques de l'antenne et de la cible permettent une détection au-delà de l'horizon théorique. Les fréquences utilisées, le bruit naturel, les effets de l'ennemi ainsi que les capacités du système ne font pas partie de cette analyse, ceci est purement un exercice trigonométrique.
- Le rayon moyen de la Terre sera utilisé et est estimé à 6 371 000 m¹⁰⁸.
- La courbure du rayonnement des ondes radar équivaut à environ une augmentation de la distance d'environ 1/3¹⁰⁹.

Les calculs :

- Sachant que :
 1. $D = d_1 + d_2$
Ou D est la distance entre un radar sur une plateforme aérienne et une cible, d_1 est la distance entre le radar et l'horizon et d_2 est la distance entre l'horizon et la cible.
- Et que
 2. $r_1 = R + a_1$
Ou r_1 est la distance entre le centre de la Terre et le radar, R est le rayon moyen de la Terre et a_1 est l'altitude du radar (en m).
 3. $d_1^2 = \frac{r_1^2 - R^2}{2}$
 $d_1 = \sqrt{\frac{r_1^2 - R^2}{2}}$
 $d_1 = \sqrt{(R + a_1)^2 - R^2}$

¹⁰⁸ NASA., « Earth Fact Sheet », <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>, consulté le 15 avril 2020.

¹⁰⁹ « Radio Line of Sight Distance Calculator • Electrical, RF and Electronics Calculators • Μετατροπέας Μονάδων σε Απευθείας Σύνδεση (online) », <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/el-GR/calculator/radio-line-of-sight/>, consulté le 15 avril 2020a.

$$\sqrt{r_1^2 + 2Rd_1} = \sqrt{r_1^2 + 2Rd_1} + d_1^2$$

L'opération peut être répétée pour en arriver à

$$\sqrt{r_2^2 + 2Rd_2} = \sqrt{r_2^2 + 2Rd_2} + d_2^2$$

Et les deux équations pourront être multipliées par 4/3 pour y incorporer la courbure des ondes électromagnétiques.

□ Alors

$$4. \quad \frac{4}{3}D = \frac{4}{3} * (\sqrt{2Rd_1 + r_1^2} + d_1 + \sqrt{2Rd_2 + r_2^2} + d_2)$$

Pour un appareil transportant un radar à 7 620 m d'altitude pourrait donc trouver un vaisseau de type Kirov (10m de hauteur¹¹⁰) à environ 431 km ou 239 NM, mais un appareil volant à 100 m d'altitude ne pourrait trouver le vaisseau qu'à 35 NM.

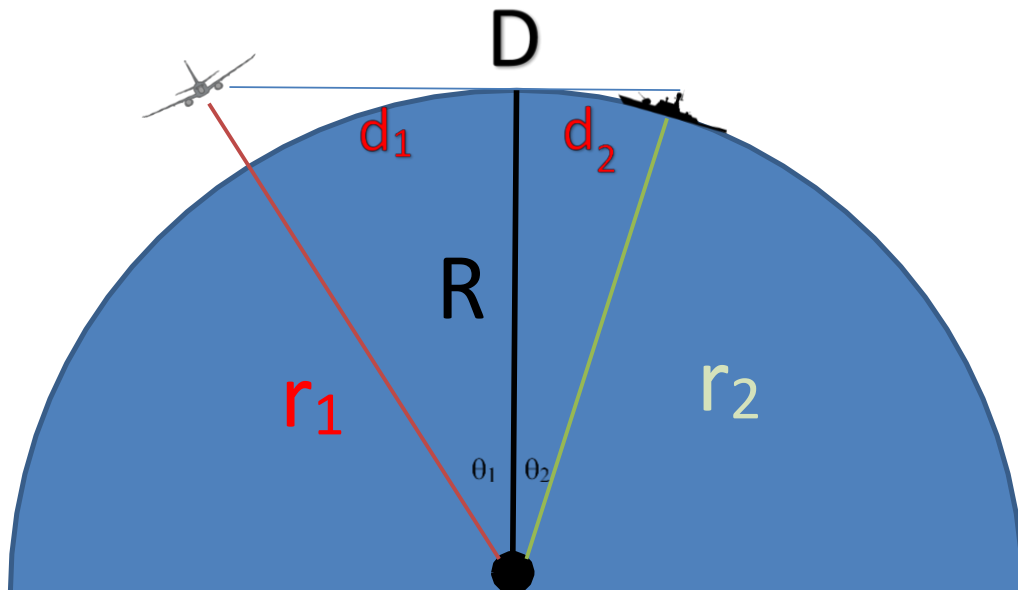


Figure 2 - Calcul de visibilité directe

¹¹⁰ « Admiral Ushakov (Kirov) Nuclear-Powered Battlecruiser Warship », https://www.militaryfactory.com/ships/detail.asp?ship_id=Kirov-Battlecruiser-1980, consulté le 15 avril 2020b.

ANNEXE B

Représentation graphique des vents historiques à la base des Forces canadiennes (BFC) de Greenwood et la BFC de Comox. Les données des vents proviennent de toutes les données historiques disponibles depuis 1955 sur le site d'environnement Canada¹¹¹. Les cartes des aéroports proviennent de Nav Canada¹¹².

Les données ont été analysées en utilisant le tableur Excel¹¹³. Les données nulles ont été omises. La valeur de la *vitesse des vents* (en nœuds) est la moyenne des valeurs de vitesse dans chaque direction (précise à 10 degrés). La valeur *répétition* (en pourcentage) représente la valeur relative du nombre de fois qu'une direction apparaît dans la liste historique. Toute donnée est basée sur la provenance des vents. Par exemple pour la direction 14 à Comox, le vent provenait de 140 degrés par rapport au nord géographique environ 11,5 % du temps et en moyenne il était de 14,5 nœuds. L'orientation des pistes n'est qu'une approximation.

Naturellement, une analyse plus approfondie pourrait aider à évaluer les changements par saison, les périodes avec des vents plus forts ou même les moments au cours desquels la force des vents reste constante dans une direction précise. Les exemples ici-bas ne sont que sommaires, mais démontrent bien que les pistes avec une longueur utilisable de 8 000 pieds et plus aux bases de Greenwood (NÉ) et Comox (CB) sont alignées avec les vents prédominants.

¹¹¹ Environnement et changement climatique Canada, « Données historiques - Climat - environnement et changement climatique Canada », 2011, https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html, consulté le 19 avril 2020.

¹¹² NAV Canada, *Cartes des aéroports canadiens 0901Z 26 mars 2020 au 0901Z 21 mai 2020*, NAV Canada., Ottawa, 2020, 704 p.

¹¹³ [Fichier de calcul](#) disponible sur demande vue sa taille excessive.

[illegible]

Figure 4 - Orientation et force des vents depuis 1955 à Greenwood en NE