REVUE

DE L'AVIATION ROYALE CANADIENNE

AUTOMNE 2019 • VOL. 8, Nº 4

Défense nationale National Defence

FORCES ARMÉES CANADIENNES
CANADIAN ARMED FORCES

Canada

La *REVUE DE L'AVIATION ROYALE CANADIENNE* est une publication officielle du Commandant de l'Aviation royale canadienne (ARC) publiée sur une base trimestrielle. Il s'agit d'une tribune permettant d'échanger sur les concepts, les questions et les idées centrales et cruciales en lien avec la puissance aérienne et spatiale. La *Revue* a pour vocation de disséminer les idées et les points de vue, non seulement des membres de l'ARC, mais aussi des civils qui s'intéressent aux questions relatives à la puissance aérienne et spatiale. Les articles peuvent traiter de la portée de la doctrine de la force aérienne, de la formation, du leadership, des leçons retenues et des opérations passées, présentes ou futures de la force aérienne. On accepte également des articles sur des sujets connexes tels que l'éthique, la technologie et l'historique de la force aérienne. Cette revue est donc destinée à permettre l'expression d'une pensée professionnelle mature sur l'art et la science de la guerre aérienne et joue un rôle clé au sein de la vie intellectuelle de l'ARC. Elle sert de véhicule de formation continue et de perfectionnement professionnel pour le personnel militaire de tous les grades, ainsi que pour les membres d'autres forces et les employés d'organismes gouvernementaux et d'universités qui s'intéressent aux questions liées à la force aérienne.

ÉQUIPE DE RÉDACTION

MEMBRES DE LA RÉDACTION

Rédacteur en chef : Colonel Shayne Elder, CSM, AM
Rédacteur principal : Lieutenant-colonel Doug Moulton, CD, M.B.A.
Rédacteur administratif: Major Derrek Williamson, CD, log.

COMITÉ DE RÉDACTION

Colonel William Lewis, O.M.M., CD, M. Ing., M. Éd., M.B.A., M.E.D, Ph. D., (retraité)
Lieutenant-colonel Paul Johnston, CD, M.A. – 1re Division aérienne du Canada
Monsieur Allan English, CD, Ph. D. – Queen's University
Monsieur James Fergusson, Ph. D. – Université du Manitoba
Monsieur Stephen Harris, CD, Ph. D. – Direction – Histoire et patrimoine
Monsieur Raymond Stouffer, CD, Ph. D. – Collège militaire royal du Canada
Monsieur Randy Wakelam, CD, Ph. D. - Collège militaire royal du Canada

Publiée par le Centre de guerre aérospatiale des Forces canadiennes
ISSN 1927-7601

RÉDACTEURS ADJOINTS Ernie Alkenbrack, Adri Boodoosingh, Leah Fallis, Françoise Romard et Vickie Thobo-Carlsen
CONCEPTION GRAPHIQUE Baz Kanda
VERSION ÉLECTRONIQUE Christine Rodych
DIRECTEUR DE LA PRODUCTION Denis Langlois

Pour la version numérique, veuillez visiter :

http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/fr/centre-guerre-aerospatiale-fc/index.page

http://w08-ttn-vmweb01/CFAWC/fr/bibliotheque-electronique/la-revue/publication-actuelle.asp

NOTE AUX LECTEURS ET LECTRICES

Afin d'alléger le texte, la notation [traduction] a été omise des articles lorsque les citations proviennent d'ouvrages non disponibles en français. Le lecteur pourra confirmer la langue source d'une citation en se référant aux notes en fin de texte. Afin de faciliter la lecture, le masculin sert de genre neutre pour désigner aussi bien les femmes que les hommes. Sauf indication contraire, les photographies reproduites dans la *Revue* appartiennent au ministère de la Défense nationale et au domaine public.

© Sa Majesté la Reine, représentée par le ministre de la Défense nationale, 2019

REVUE

DE L'AVIATION ROYALE CANADIENNE

PUISSANCE AÉRIENNE EN FORMATION

AGILITÉ • INTÉGRATION • PORTÉE • PUISSANCE

DIRECTIVES SUR LA SOUMISSION DE MANUSCRITS

L'équipe de rédaction de la *REVUE DE L'AVIATION ROYALE CANADIENNE* (*REVUE DE L'ARC*) est intéressée à recevoir des articles, des comptes rendus de livres et de courts textes portant sur des sujets d'intérêt ou traitant de la portée de la doctrine de la force aérienne, de la formation, du leadership, des leçons retenues et des opérations aériennes passées, présentes ou futures. Les textes paraîtront sous les rubriques *Lettres à la rédaction*, *Sujets d'intérêt*, *À l'avant-garde* et *Argument et Contre-argument*. On accepte également les textes traitant de sujets connexes tels que l'éthique, la technologie et l'historique de la force aérienne.

RUBRIQUES DE LA REVUE DE L'ARC

RUBRIQUE	LIMITE DE MOTS*	DÉTAILS
LETTRES À LA RÉDACTION	50-250	Observations traitant de matériel déjà publié dans la Revue de l'ARC.
ARTICLES	3000-5000	Rédigés selon un style académique.
CRITIQUES DE LIVRES	500-1000	Rédigées selon un style académique et doivent contenir : • titre complet du livre (y compris le sous-titre); • nom complet de tous les auteurs tel qu'ils figurent sur la page de titre; • éditeur du livre ainsi que lieu et date de publication; • numéro ISBN et nombre de pages; • une photo de la couverture du livre en image à haute résolution (pas moins de 300 dpi) en format .jpg et mesurant au moins 12 x 18 cm (5 x 7 po).
SUJETS D'INTÉRÊT	250-1000	Observations traitant de sujets variés (opérations, exercices et anniversaires) pouvant captiver le lectorat s'intéressant aux questions aérospatiales.
À L'AVANT-GARDE	250-2000	Tribune de commentaires, opinions ou réactions portant sur le matériel déjà paru dans la *Revue de l'ARC* ou sur des sujets pouvant captiver le lectorat intéressé aux questions aérospatiales.
ARGUMENT/CONTRE-ARGUMENT	1500-2000	Tribune offrant l'occasion d'examiner un sujet intéressant l'ARC de deux points de vue divergents.

*excluant les notes en fin de texte

LES AUTEURS SONT PRIÉS DE RESPECTER LES DIRECTIVES SUIVANTES :

- Les articles peuvent être rédigés dans l'une ou l'autre des langues officielles.
- Les auteurs doivent inclure une courte notice biographique (un paragraphe) dans laquelle ils indiquent leur fonction actuelle ou poste et leur numéro de téléphone ainsi que leur adresse électronique. Tous les titres professionnels et académiques ainsi que les décorations militaires doivent être indiqués.
- Les articles sélectionnés qui ont été examinés par des pairs afficheront un à la gauche de leur titre respectif.
- Le rédacteur principal avisera les auteurs de l'état de leur article. Tous les manuscrits soumis ne seront pas nécessairement publiés.
- Tous les textes doivent être en format numérique (Microsoft Word ou format RTF). Les fichiers ne doivent pas être protégés par un mot de passe ni contenir de macros. Les textes peuvent être soumis par courrier postal, ou envoyés à l'adresse de courriel mentionnée plus bas.
- Tout tableau, image et figure auxiliaire qui accompagne le texte doit être envoyé dans un fichier distinct et dans son format original, c.-à-d. qu'ils ne sont pas incorporés dans le texte. La préférence est accordée aux fichiers vectoriels originaux, les fichiers à haute résolution (pas moins de 300 dpi) en format .psd ou .jpg peuvent aussi être soumis.
- Les auteurs doivent maintenant fournir un « texte optionnel » contenant une description détaillée de toutes les figures contenues dans leur texte. Le texte optionnel doit porter cette mention et être placé sous la légende.
- Les autorisations en matière de droit d'auteur d'utiliser du matériel n'étant pas la propriété du ministère de la Défense nationale ou de l'auteur même doivent être fournies. Il incombe à l'auteur d'obtenir et de joindre les autorisations écrites en incluant le nom de l'auteur ou de l'artiste, ainsi que le nom et l'endroit d'édition. Tout matériel qui ne satisfait pas à ces exigences peut être omis de la *Revue de l'ARC*.
- Le rédacteur principal peut fournir des images ou faire créer des graphiques, au besoin, pour accompagner des articles.
- Les auteurs devraient utiliser l'orthographe indiquée dans le *Petit Robert* ou *l'Oxford English*. Au besoin, les notes doivent se trouver à la fin du texte plutôt qu'en bas de page et suivre la norme de présentation du *Guide du rédacteur*. Pour toute question liée à la rédaction, veuillez-vous référer au *Guide du rédacteur*, au *Little, Brown Handbook* ou vous adresser aux Services de production du Centre de guerre aérospatiale des Forces canadiennes à l'adresse suivante : RAWCProd@forces.gc.ca.
- Les acronymes et les abréviations doivent être utilisés de façon parcimonieuse.
  - Si leur usage est requis par le texte, le terme complet devra être inscrit lors de la première occurrence, suivi de la forme abrégée entre parenthèses.
  - Un tableau de toutes les abréviations (accompagnées de leurs termes correspondants) utilisées dans un texte devra être inclus à la fin du texte.
- Le rédacteur principal se réserve le droit de réviser les manuscrits pour des raisons de style, de grammaire et de concision, mais n'apportera aucun changement de nature éditoriale susceptible d'avoir un effet sur l'intégrité des propos sans avoir préalablement consulté l'auteur.

POUR OBTENIR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS OU POUR SOUMETTRE UN MANUSCRIPT, VEUILLEZ COMMUNIQUER AVEC LE RÉDACTEUR PRINCIPAL AUX COORDONNÉES SUIVANTES :

Centre de guerre aérospatiale des Forces canadiennes
8e Escadre / BFC Trenton
C.P. 1000, succ. Forces
Astra (Ontario) K0K 3W0

À l'attention de : Lcol Doug Moulton RAWCRCAFJournal@forces.gc.ca

INVITATION À PROPOSER DES ARTICLES

Pour l'édition d'hiver : **30 octobre**

Pour l'édition du printemps : **30 janvier**

Pour l'édition d'été : **30 avril**

Pour l'édition d'automne : **30 juillet**

AVERTISSEMENT

Les opinions exprimées dans la *Revue de l'ARC* n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent aucunement les politiques du Ministère ou des Forces armées canadiennes. Les textes traitant des derniers développements en matière de doctrine et d'instruction ou dans un domaine quelconque ne confèrent à personne l'autorité d'agir à cet égard. Tous les documents publiés demeurent la propriété du ministère de la Défense nationale et ne peuvent être reproduits sans autorisation écrite.

CONTENU

AUTOMNE 2019

VOLUME 8 • NUMÉRO 4

MESSAGE DU RÉDACTEUR 4

ARTICLES

BOXTOP 22 : LE COÛT D'UNE CULTURE AXÉE SUR LA PERSPECTIVE OPÉRATIONNELLE 6
PAR LE LIEUTENANT-COLONEL ERIK ROZEMA-SEATON

INTÉGRATION DE L'ESPACE : COMMENT INTÉGRER LES DONNÉES SPATIALES DANS LES OPÉRATIONS AÉRIENNES AFIN DE GARANTIR QUE L'ARC DEMEURE CRÉDIBLE ET PERTINENTE 24
PAR LE CAPITAINE MELISSA CHANDLER

ANALYTIQUE DE L'APPRENTISSAGE 32
PAR LE MAJOR DAVID DUNWOODY, CD

LES DRONES ARMÉS DANS LE PROCESSUS DE CIBLAGE : UN MOYEN POUR LE CANADA DE S'ILLUSTRER SUR LA SCÈNE INTERNATIONALE 51
PAR LE MAJOR MARTIN VOYER, CD, M.E.D.

SUJETS D'INTÉRÊT

APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE : AUTOMATISER LES PROCESSUS ORGANISATIONNELS AFIN D'OPTIMISER L'UTILISATION DES RESSOURCES HUMAINES 68
PAR LE CAPITAINE C. D. MCGREGOR

À L'AVANT-GARDE

LE DYNAMISME DE L'ESPACE EXPOSE LES LACUNES DE LA POLITIQUE AMÉRICAINE FACE À L'ESCALADE DES CONFLITS 75
PAR LE SERGENT SIMON D. H. WELLS

MESSAGE DU RÉDACTEUR

Dans ce numéro d'automne 2019 de la *Revue de l'Aviation royale canadienne*, nous présentons une série d'articles qui intéresseront à coup sûr les passionnés de la puissance aérienne et qui illustrent bien la grande variété de questions que traite quotidiennement l'Aviation royale canadienne (ARC). Ils approfondiront votre compréhension des intérêts concurrents qui caractérisent le fonctionnement d'une organisation aussi complexe. Vous serez également amenés à réfléchir aux questions concernant le perfectionnement professionnel auxquelles est confrontée notre nouvelle génération de leaders. Comment nous assurer que nos officiers en quête constante de perfectionnement disposent des ressources nécessaires pour diriger dans un contexte aussi difficile? Si vous ne vous posez pas cette question en lisant ce numéro, c'est que vous ne lisez pas assez attentivement.

« Boxtop 22 : le coût d'une culture axée sur la perspective opérationnelle », par le lieutenant-colonel Rozema-Seaton, porte sur la culture opérationnelle de la mentalité d'« exécution » qu'adopte la communauté de la mobilité aérienne. L'auteur se penche notamment sur le défi lié à la volonté d'être efficace et sur les conséquences imprévues qui en découlent sur le plan de la sécurité.

Le capitaine Chandler, finissante du Cours sur la puissance aérienne et spatiale dans les opérations de (CPASO), tente, dans le premier article, de répondre à la question du commandant de l'ARC : « Quelles capacités de commandement, contrôle, communications, informatique, renseignement, surveillance et reconnaissance (C4ISR) de l'environnement spatial l'ARC peut-elle exploiter pour contribuer à la puissance aérienne? » Le capitaine Chandler aborde cette question en discutant de la nécessité d'intégrer les capacités spatiales au Centre multinational d'opérations aérospatiales de l'ARC, à Winnipeg. L'ARC peut jouir d'avantages considérables en misant sur le C4ISR pour améliorer sa situation aérienne générale.

Dans le troisième article, le major Dunwoody attire notre attention sur « l'analytique de l'apprentissage » tel qu'elle s'applique à l'administration efficace de l'instruction dans l'ARC. L'analytique de l'apprentissage fait partie de l'exploration de données, parfois appelée « exploration de données en éducation ». Son application a pour objet d'assurer le niveau d'apprentissage requis à un coût approprié en ce qui concerne les ressources.

Le major Voyer avance, dans le quatrième article, que l'introduction de véhicules aériens sans pilote armés à l'arsenal canadien favorisera grandement le développement d'une capacité nationale de ciblage. Le major Voyer compare les véhicules avec et sans pilote, les véhicules armés et non armés, et les contributions nationales et internationales.

Dans la rubrique « Sujets d'intérêt », le capitaine McGregor, finissant du CPASO 1801, parle de l'intégration de l'apprentissage automatique à l'ARC pour aider à optimiser les ressources en personnel.

Enfin, dans notre rubrique « À l'avant-garde », le sergent Wells examine les défis que posent les conflits dans l'espace et se penche sur le fait que les traités actuels n'abordent pas les questions qui entreront en jeu à l'avenir et sur la nécessité d'aborder ces questions.

Alors, comment pouvons-nous nous assurer que les officiers en quête constante de perfectionnement disposent des ressources nécessaires pour diriger dans ce contexte difficile? J'attends vos idées avec impatience.

Bonne lecture.

Sic Itur Ad Astra

Lieutenant-colonel Doug Moulton, CD, M.B.A.

Rédacteur en chef

Canadian
702

BOXTOP 22 :

le coût d'une culture axée sur la perspective opérationnelle

Par le lieutenant-colonel Erik Rozema-Seaton

La puissance aérienne peut procurer d'importants avantages aux missions militaires en permettant de tirer le meilleur parti de la portée, de la vitesse et de l'agilité d'un aéronef. Toutefois, en raison des risques inhérents aux vols d'aéronefs, ces avantages peuvent être rapidement contrecarrés lorsqu'une erreur est commise ou qu'une série d'incidents aboutit à un accident aérien. Le 30 octobre 1991, un tel événement s'est produit. Ce jour-là, un CC130 Hercules du 435e Escadron des Forces armées canadiennes (FAC), identifié par l'indicatif d'appel Boxtop 22, décolla de la base aérienne de Thulé, au Groenland, dans le cadre de l'opération (Op) BOXTOP, avant de subir un impact sans perte de contrôle (CFIT) lors duquel son aile gauche percuta le sol, à quelque 10 milles marins (NM)[1] au sud-est de la Station des Forces canadiennes (SFC) Alert[2]. L'aéronef ayant subi des avaries catastrophiques, trois passagers ainsi qu'un membre d'équipage périrent à la suite de blessures causées par l'impact, tandis que le commandant de bord mourut de froid environ 24 heures plus tard en attendant les secours. En dépit du lancement immédiat des opérations de recherche et sauvetage les plus énergiques jamais menées par l'Aviation royale canadienne (ARC), le reste de l'équipe et des passagers durent combattre le rigoureux climat arctique pendant 47 longues heures avant d'être secourus[3].

Malgré les nombreux facteurs à l'origine des événements qui ont entraîné l'écrasement du Boxtop 22 ou qui y ont contribué, c'est la mentalité de « mener la mission à bien » de la communauté de la mobilité aérienne qui ressort comme le plus notable d'entre eux. Une telle perspective opérationnelle peut apporter des avantages substantiels. Or, elle peut être tout aussi dangereuse si l'accomplissement de la mission devient l'unique priorité de la communauté. En conséquence, le présent article fera valoir que les conditions ayant mené à l'écrasement du Boxtop 22 sont attribuables à l'incapacité des hauts dirigeants de l'ARC (tant à l'échelle des unités qu'à l'échelle institutionnelle) de favoriser une culture de sécurité et de communication ouverte parmi les membres d'équipage de la flotte de mobilité aérienne.

Pour situer le contexte, le présent article commencera par exposer la situation opérationnelle et le déroulement des principaux événements qui sont survenus durant le vol du Boxtop 22 et ont mené au CFIT. En recourant aux principes de la doctrine de l'ARC et de la performance humaine dans l'aviation militaire (PHAM) comme concepts analytiques, le présent article examinera les risques relatifs à la culture et à la coordination de l'équipage et les erreurs s'y rattachant commises

Malgré les nombreux facteurs à l'origine des événements qui ont entraîné l'écrasement du Boxtop 22 ou qui y ont contribué, c'est la mentalité de « mener la mission à bien » de la communauté de la mobilité aérienne qui ressort comme le plus notable d'entre eux.

Un CC130 Hercules attend sur l'aire de trafic pour son prochain vol vers Alert, à Thulé (Groenland), pendant l'Op BOXTOP, le 27 avril 2017.

durant le vol du Boxtop 22. Dans le cadre de la doctrine actuelle des FAC en matière de leadership, l'article démontrera ensuite l'incapacité des hauts dirigeants de l'ARC de favoriser une culture de sécurité opérationnelle et de veiller à ce que la formation des équipages et les principes opérationnels sécuritaires soient activement encouragés pour aider à réduire les risques inhérents aux opérations de l'ARC. Enfin, le présent article analysera plusieurs des mesures prises par les hauts dirigeants de l'ARC depuis cet accident et évaluera les leçons tirées de cette tragédie.

PRINCIPAUX INCIDENTS OPÉRATIONNELS

Située à 441 NM du pôle Nord géographique, la SFC Alert est le lieu habité en permanence le plus au nord sur la planète[4]. Pour assurer le maintien des activités de la Station, les FAC mènent l'Op BOXTOP deux fois l'an afin de lui fournir les matériaux et l'équipement requis pour fonctionner pendant une durée atteignant six mois. Les provisions sont expédiées vers la SFC Alert en deux temps : d'abord par voie maritime, vers la Base aérienne de Thulé, puis par voie aérienne, vers Alert, un rôle convenant parfaitement au CC130 Hercules[5].

Le 30 octobre 1991, l'équipage du Boxtop 22 (le 22e vol prévu dans le cadre de l'Op BOXTOP) se préparait à son quatrième vol. L'Op BOXTOP durait depuis trois jours, et les membres d'équipage commençaient à s'adapter à la routine de vol et à s'ajuster à l'obscurité quasi permanente[6]. Les préparatifs avant vol se déroulèrent sans incident et, vers 15 h 20 (heure locale), le Boxtop 22 décolla pour son vol d'une heure vingt minutes vers la SFC Alert. À environ 100 NM de sa destination, l'équipage commença à préparer l'arrivée. Les membres de l'équipage communiquèrent avec l'opérateur radar de la SFC Alert (indicatif d'appel Glow Worm), affecté temporairement pour l'Op BOXTOP. Le copilote établit le contact radio. Glow Worm confirma la position de l'aéronef à 92 NM au sud d'Alert et conseilla à l'équipage de descendre d'abord à 3 048 mètres (m) au-dessus du niveau moyen de la mer (NMM)[7].

Au moment où le Boxtop 22 effectuait sa descente initiale, le Boxtop 21 procédait à ses propres préparatifs d'arrivée à Alert. Le Boxtop 22 s'était envolé à l'heure prévue, tandis que le Boxtop 21 fut retardé à Thulé en raison d'une défaillance mécanique. Afin de maintenir le rythme des activités, le Boxtop 22 décolla comme prévu, et le Boxtop 21 décolla vingt minutes plus tard. Or, cet écart

posait problème. Puisque le Boxtop 22 effectuait sa descente, que le Boxtop 21 accusait un retard de vingt minutes et que le Boxtop 20 était déjà au sol à Alert, les trois aéronefs risquaient de se retrouver tous les trois en même temps sur l'aire de trafic. Le commandant de bord du Boxtop 22 vit la situation se dessiner et, dans l'objectif de réduire la congestion sur l'espace restreint de l'aire de trafic, décida de tenter d'accélérer son arrivée. Son raisonnement était qu'en atterrissant plus tôt, il prendrait de l'avance dans son déchargement de carburant, voire que celui-ci pourrait être achevé avant l'atterrissage du Boxtop 21. Afin d'accélérer l'arrivée de son aéronef, le commandant de bord décida de passer à l'approche visuelle. Le copilote effectua les appels radio appropriés. Glow Worm accusa réception et autorisa l'équipage à passer à l'approche à vue[8].

Au moment de passer aux procédures visuelles, le commandant de bord fit passer l'indicateur de situation horizontale (ISH) du système de navigation aérienne tactique (TACAN) au mode de tenue de cap. Du coup, la barre directrice principale de son ISH ne pointait plus vers le TACAN du terrain d'aviation, éliminant ainsi l'une de ses ressources de connaissance de la situation. Confiant que l'équipage était disposé à poursuivre ces manœuvres d'arrivée, le commandant de bord poursuivit sa descente jusqu'à 1189 m au-dessus du NMM. L'équipage regardait droit devant vers le balisage lumineux du terrain d'aviation, qui grossissait de plus en plus dans la verrière de l'aéronef. Ce phénomène était en fait une illusion d'optique de trou noir créée par les conditions hivernales dégagées, qui faisait en sorte que les objets apparaissaient beaucoup plus près qu'ils ne l'étaient en réalité. Croyant se trouver plus près du terrain d'aviation qu'ils ne l'étaient réellement, l'équipage s'écarta de sa trajectoire pour préparer l'étape vent arrière de l'approche[9].

Alors que l'appareil poursuivait sa descente en vent arrière, le pilote demanda au navigateur s'il était sécuritaire de descendre à l'altitude de circuit de 457 m au-dessus du NMM. En consultant son écran radar, le navigateur regarda au-devant et vit une image noire accompagnée d'un minimum d'échos radar, indiquant que l'aéronef se trouvait au-dessus de l'eau. En fait, ce que le navigateur voyait était un phénomène appelé « inversion radar ». Sans contre-vérifier son TACAN pour s'assurer de la position de l'appareil, le navigateur confirma que l'appareil se trouvait bien au-dessus de l'eau,

Inauguration d'un monument marquant le 25e anniversaire de l'écrasement du vol 22 de l'Op BOXTOP. La cérémonie s'est déroulée sur les lieux mêmes de l'accident, environ 16 km au sud de la SFC Alert, le 15 juin 2016.

L'écrasement du Boxtop 22 est un triste exemple de la façon dont une suite d'événements et d'erreurs peut avoir une issue désastreuse.

donc qu'une altitude de 457 m au-dessus du NMM était sécuritaire. Le navigateur avait raison, en ce sens que si l'avion se trouvait au-dessus de l'eau, 457 m au-dessus du NMM était une altitude sécuritaire. Cependant, les collines ondoyantes que l'avion survolait culminaient à 366 m au-dessus du NMM, ce qui ne laissait guère au Boxtop 22 que 91 m de dégagement par rapport au sommet des collines, non pas les 457 m requis par les règlements[10]. À mesure que l'aéronef poursuivait sa descente, le commandant de bord réduisit les gaz, ralentit la vitesse de l'aéronef à 160 nœuds[11] et abaissa les volets à 50 %. Même s'il affirmait avoir atteint les 457 m au-dessus du NMM, aucun autre membre de l'équipage ne l'avisa que l'aéronef se trouvait plutôt à 1300 pi au-dessus du NMM.

À environ 12 NM au sud-est du terrain d'aviation, l'équipage du Boxtop 22 croyait se trouver plus près du terrain d'aviation et à une altitude plus élevée qu'il ne l'était en réalité. De plus, les membres de l'équipage croyaient se trouver en lieu sûr, au-dessus de l'eau et non des collines de l'Arctique. À mesure que l'équipage poursuivait son approche en vent arrière et procédait aux vérifications d'usage avant l'atterrissage, l'aéronef « vira à droite tout juste assez pour que les lumières du terrain d'aviation disparaissent derrière le moteur gauche[12] ». Le commandant de bord fit alors un virage à gauche afin d'abaisser l'aile gauche de 20 degrés, espérant que cela ramènerait les lumières dans son champ de vision.

À environ 16 h 25 (heure locale), alors que l'aéronef effectuait son virage, l'aile gauche heurta la crête d'une petite montagne, puis le dessous de l'avion percuta le sol. Le Boxtop 22 parcourut quelque 488 m sur le sol avant de se séparer en trois sections et de s'écraser en formant un grand cercle puis de s'immobiliser[13]. La série d'erreurs mineures non contrôlées qui commença au début de la descente entraîna l'écrasement de l'équipage et des passagers du Boxtop 22 dans l'Extrême-Arctique. Finalement, cinq membres d'équipage y trouvèrent la mort, l'aéronef fut détruit et de nombreuses personnes furent blessées. De plus, l'écrasement donna lieu aux plus vastes efforts de recherche et sauvetage de l'histoire de l'ARC. Quarante-sept heures furent requises pour atteindre le lieu de l'écrasement[14]. Même si bon nombre des manquements ayant mené à l'accident résultaient de l'erreur humaine, une analyse plus poussée a démontré que certains enjeux culturels sous-jacents courants dans la communauté de la mobilité aérienne ont aussi joué un rôle significatif.

MODÈLES D'ERREUR HUMAINE

Les concepts modernes de gestion des ressources en équipe (GRE) remontent au début des années 80, alors qu'un certain nombre d'études ont été entreprises pour déterminer si des points communs existaient entre les divers accidents d'aéronefs[15]. Ces recherches ont permis de constater

qu'il existait en effet certains points communs entre ces incidents, et que des mesures préventives pourraient être mises en œuvre pour aider les membres d'équipage à éviter les conditions préalables aux accidents d'aéronefs. Bien que quelques-uns des principes théoriques et issus de la recherche en lien avec la GRE aient été intégrés aux procédures opérationnelles de l'ARC, elle n'a adhéré à ces principes et ne les a intégrés à sa doctrine et à ses politiques d'instruction que vers la fin de 1993[16]. Le professeur de psychologie James Reason a contribué à l'élaboration des principes de GRE en ébauchant sa théorie sur l'erreur humaine. Reason soutenait que « les humains sont sujets aux erreurs, et il faut s'attendre à ce qu'ils en commettent, même dans les meilleures organisations ». Dans la foulée de cet argument, Reason a élaboré le modèle du fromage suisse de l'erreur humaine, soutenant que « même si nous ne pouvons changer la condition humaine, nous pouvons changer les conditions dans lesquelles l'humain travaille[17] ». Les stratégies élaborées dans le cadre de cette approche systémique à l'égard de l'erreur humaine sont axées sur la construction de défenses pour éviter les erreurs. Ces défenses, barrières et mesures de protection visent à éviter, détecter et atténuer les éventuelles erreurs et menaces[18]. L'efficacité globale des tactiques employées repose sur l'acceptation culturelle de ces principes au sein de l'organisation, par exemple une attitude axée sur la sécurité et la valorisation de la communication ouverte[19].

« Dans l'ensemble, la mentalité de l'équipage du CC130 consistait simplement à accomplir le travail, et cette attitude était alimentée par les conditions difficiles et la complexité des opérations que l'aéronef et l'équipage du Hercules devaient effectuer. »

FACTEURS CONTRIBUTIFS

L'écrasement du Boxtop 22 est un triste exemple de la façon dont une suite d'événements et d'erreurs peut avoir une issue désastreuse. L'application du modèle de Reason aux événements liés à cet accident aide à définir les facteurs contributifs à l'origine des erreurs commises et de l'incapacité à les corriger. Les influences culturelles et organisationnelles qui existaient à l'époque au sein du Groupe transport aérien s'observent aussi dans les manquements au niveau de la sécurité des activités de surveillance de l'équipage, le manque de vérification de l'information et les mauvaises communications entre les membres d'équipage. Ce sont ces niveaux de défense simples, mais essentiels, qui faisaient défaut ou étaient absents durant l'arrivée du Boxtop 22 et qui ont abouti à l'impact sans perte de contrôle.

Un CC130 Hercules décolle de la base aérienne de Thulé (Groenland) afin de mener des vols de réapprovisionnement en carburant à Alert, au Nunavut, pendant l'Op BOXTOP le 6 octobre 2016.

En tant qu'organisation militaire, le Groupe transport aérien accordait la priorité à la conduite de ses opérations et à l'exécution efficace des tâches qu'on leur avait assignées. Dans l'ensemble, la mentalité de l'équipage du CC130 consistait simplement à accomplir le travail, et cette attitude était alimentée par les conditions difficiles et la complexité des opérations que l'aéronef et l'équipage du Hercules devaient effectuer. Cette attitude peut éventuellement aider à atteindre d'importants niveaux de succès dans le cadre des opérations militaires, car cela met au défi les équipages de travailler efficacement et les amène à persévérer dans les situations difficiles en leur procurant une plus grande motivation[20]. Cependant, cette attitude peut aussi avoir des effets négatifs si le plan n'est pas entièrement coordonné et si tous les facteurs ne sont pas dûment pris en compte. Le principe selon lequel un risque accru n'est acceptable que s'il s'accompagne d'un avantage qui fait suffisamment contrepoids au coût éventuel du risque est important dans ce contexte[21]. L'équipage du Boxtop 22 faisait partie d'une équipe participant à une opération militaire de ravitaillement. Le fait de prendre part à l'Op BOXTOP n'autorisait pas automatiquement les équipages à accepter des niveaux de risque accrus. Cependant, faire partie d'une opération alimente le désir d'accomplir la mission, qui plus est de le faire efficacement[22]. Les points suivants décrivent les erreurs commises ou les décisions prises par les membres d'équipage qui ont accru fondamentalement le risque relatif à la procédure d'arrivée et qui n'ont pas été contrebalancées par un niveau d'attention accru ou d'autres mesures d'atténuation.

À toutes les phases de leur instruction, les membres des équipages aériens apprennent à anticiper les situations et à élaborer des solutions pour aborder les éventuels problèmes. Ce processus consistant à regarder vers l'avant et à essayer de gagner du temps plutôt que d'accorder la priorité à la sécurité de l'aéronef et de son équipage est l'un des premiers facteurs de la suite d'événements ayant mené à l'écrasement. Le commandant de bord s'était initialement préparé à exécuter une procédure d'approche aux instruments vers Alert et avait configuré ses instruments en conséquence lors de l'exposé avant l'arrivée. Après avoir amorcé la descente, entrevoyant la possibilité de congestion sur l'aire de trafic, le commandant envisagea un plan d'action pour atténuer ce problème.

En passant d'une approche aux instruments à une approche visuelle, il pensait gagner du temps et rendre l'opération plus efficace en limitant le niveau de congestion sur l'aire de trafic d'Alert. Or, cette décision de dernière minute de changer d'approche ne lui fit gagner que cinq minutes, ce qui ne contrebalançait pas suffisamment le risque engendré par le changement d'approche[23]. Ce raisonnement allait dans le sens des principes enseignés aux équipages de mobilité aérienne, qui leur apprennent à rechercher des possibilités de gagner du temps et de rendre la mission plus efficace[24]. Le passage à une approche visuelle présentait l'inconvénient d'éliminer plusieurs des ressources de connaissance de la situation à la disposition de l'équipage et qui auraient été présentes en approche aux instruments. Il est possible que le commandant de bord ait perçu que les avantages d'une arrivée plus rapide compensaient adéquatement le risque accru d'une approche visuelle de nuit en terrain élevé. Cependant, ce genre de décision n'aurait été acceptable que si le risque additionnel avait été contré par un niveau d'attention plus élevé durant l'approche[25].

L'une des procédures d'approche mises en œuvre au sein de la communauté de la mobilité aérienne et visant à fournir une supervision accrue se nomme « approche surveillée par le pilote ». Une telle approche présente l'avantage de fournir aux commandants de bord plus expérimentés la possibilité de superviser et d'encadrer l'équipage sans avoir à se concentrer aussi sur le contrôle de l'aéronef. De plus, une telle procédure donne au copilote la possibilité de perfectionner ses compétences de vol et de gagner plus d'expérience en matière de contrôle d'aéronef. Le commandant de bord du Boxtop 22 a réduit considérablement les avantages associés à l'approche surveillée par le pilote en prenant le contrôle de l'arrivée durant la descente et en transférant les fonctions de surveillance au copilote. Même s'il ne s'agissait pas d'une violation d'une procédure prescrite, cette décision indique que le commandant de bord était peu préoccupé par les conditions de l'arrivée et souligne son incapacité à reconnaître le risque accru encouru par le passage à l'approche visuelle. En effectuant l'approche lui-même, le commandant de bord avait réduit sa propre capacité à surveiller les autres membres de l'équipage et à communiquer efficacement avec eux. Cela pose particulièrement problème, car c'était la première fois que l'équipage devait effectuer une arrivée de nuit en approche visuelle[26].

Selon les principes actuels de PHAM de l'ARC, les communications sont un aspect essentiel du processus de prise de décisions opérationnelles et un outil important dans la gestion des risques, des menaces et des erreurs[27]. Tout au long de l'arrivée du Boxtop 22, des problèmes de communication sont survenus à maintes reprises. Ces problèmes peuvent être principalement attribués au cadre hiérarchique de la communauté de la mobilité aérienne, où personne ne remet les décisions en question. Dans cette optique, il importe de s'assurer que tous les membres d'équipage partagent des buts, des perceptions et un modèle mental communs[28]. Même si une telle décision n'était pas en soi déraisonnable, le passage à l'approche visuelle durant l'arrivée n'a pas été remis en question, et on ne sait pas si tous les membres d'équipage étaient au courant du risque accru que cela engendrait. À plusieurs reprises durant l'approche, le copilote, le navigateur et le mécanicien de bord auraient pu exprimer des doutes ou des préoccupations quant aux décisions ou mesures prises par leur commandant de bord. Le fait que le commandant de bord avait pris la décision de descendre sous le NMM, à savoir l'altitude sécuritaire minimale prescrite lors de l'exposé initial, revêtait une importance capitale. Si l'un des membres de l'équipage avait souligné l'erreur et demandé qu'un correctif soit apporté sur-le-champ, il est fort probable que l'aéronef n'aurait pas heurté la montagne, même s'il se trouvait toujours sous l'altitude de vol sécuritaire.

En plus d'entraver les communications entre les membres d'équipage, les coutumes adoptées par la communauté de la mobilité aérienne faisaient en sorte que les membres d'équipage peu expérimentés étaient moins sûrs de remettre en question les décisions de leurs collègues plus expérimentés

et l'information fournie par ceux-ci, tout particulièrement lorsque le membre d'équipage le plus expérimenté était le commandant de bord[29]. Cette philosophie entraîne d'autres problèmes, notamment le fait que cela peut créer un faux sentiment de foi, qui peut amener les membres d'équipage à faire confiance aveuglément à ce que dit le membre le plus haut gradé, plutôt que de contre-vérifier l'information qu'il fournit à la lumière d'autres données. À maintes reprises durant l'approche du Boxtop 22, la situation dangereuse aurait pu être évitée si les membres de l'équipage avaient dûment contre-vérifié l'information qu'on leur avait fournie au regard d'autres sources de navigation. Les principes actuels de PHAM donnent à ce principe le nom de « détection des erreurs ». L'intégration de ce principe à la culture de la mobilité aérienne aurait fort probablement aidé à éviter cette tragédie[30]. Bien que les erreurs commises sur le Boxtop 22 et qui ont contribué au CFIT soient directement attribuables aux membres de l'équipage en cause, les hauts dirigeants de l'ARC ont aussi leur part de responsabilité dans cet accident.

La mise de l'avant d'une culture de sécurité d'un bout à l'autre de l'organisation est essentielle à la conduite sécuritaire des opérations aériennes.

INFLUENCES INSTITUTIONNELLES

Le rapport de fin d'enquête sur l'accident y allait de la déclaration vigoureuse suivante : « Cet accident aurait pu être évité[31]. » Cet énoncé a d'autant plus d'impact qu'il a été formulé par le lieutenant-général Huddleston, commandant du Commandement aérien de l'époque. De plus, même s'il visait à susciter une réflexion sur les gestes posés et les erreurs commises par l'équipage du Boxtop 22, il s'appliquait aussi à la direction de l'ARC d'avant l'accident. Selon la doctrine du leadership adoptée par les FAC, les dirigeants des FAC doivent accomplir avec succès les missions en guidant non seulement les employés au niveau des unités, mais aussi l'institution. Il incombe aux hauts dirigeants des FAC de s'assurer que les capacités opérationnelles nécessaires sont créées, tout en élaborant et en maintenant une identité professionnelle et en harmonisant la culture et la philosophie. La perspective opérationnelle est un facteur important. Cependant, les dirigeants doivent faire la part des choses en favorisant un environnement axé sur des relations d'apprentissage et de collaboration afin d'accroître l'efficacité et de favoriser le mieux-être du personnel[32].

Il ressort de ce cadre de leadership que la mise de l'avant d'une culture de sécurité d'un bout à l'autre de l'organisation est essentielle à la conduite sécuritaire des opérations aériennes. Avant l'écrasement du Boxtop 22, l'approche adoptée par le Groupe transport aérien encourageait une mentalité de « mener la mission à bien » et l'acceptation d'un certain « degré de désobéissance volontaire aux règles de vol » si cela favorisait l'atteinte de résultats opérationnels. Les exploits

Un CC130 Hercules et un CC177 Globemaster pendant l'Op BOXTOP, en 2018.

qui repoussaient les limites ou qui mettaient au défi l'aéronef et son équipage de repousser leurs limites, étaient tenus en haute estime par la communauté pour leur caractère héroïque[33]. Pour cette raison, un certain degré de risque était volontairement accepté si le but était d'être plus efficace sur le plan opérationnel. La faible priorité accordée à l'époque à la sécurité au sein de l'organisation se manifestait dans l'incapacité du Groupe transport aérien d'adhérer pleinement à la formation sur la sécurité, de mener à bien l'Op BOXTOP durant une période plus à risque et de s'assurer que l'équipement est muni de dispositifs avertisseurs de proximité modernes[34].

Même si le Groupe transport aérien avait fourni des consignes relatives à l'équipement de sécurité et de l'instruction de survie au personnel navigant, elles n'étaient pas obligatoires à la conduite des opérations. De plus, aucun des membres de l'équipage du Boxtop 22 n'avait suivi l'instruction de survie en Arctique[35]. Une perspective plus axée sur la sécurité n'aurait pas appuyé des opérations dans un environnement pour lequel le personnel n'avait pas reçu une instruction appropriée. En outre, l'instruction en lien avec la GRE et la PHAM n'avait pas été adoptée par l'ARC avant cet accident, même si les États-Unis avaient reconnu ses avantages au cours de la décennie précédente[36]. Les principes et techniques enseignés dans le cadre de l'instruction sur la GRE et la PHAM auraient pu, à maintes reprises durant l'approche vers la SFC Alert, aider à éviter, détecter ou atténuer les erreurs commises par l'équipage. Le fait d'éviter ne serait-ce qu'une seule de ces erreurs aurait pu interrompre le fil des événements menant au CFIT.

La décision de mener l'opération BOXTOP durant une période d'obscurité totale en Arctique est un autre facteur opérationnel qui a influé sur l'équipage du Boxtop 22. En planifiant des opérations entre la fin octobre et le milieu novembre et, ainsi, en éliminant les avantages des opérations diurnes sur le plan de la sécurité (meilleurs repères de navigation visuelle, effet moindre sur le rythme

circadien), la direction du Groupe transport aérien a exacerbé le risque inhérent à la mission[37]. Des contraintes relatives au carburant à la SFC Alert ont également joué un rôle dans la décision de reporter l'Op BOXTOP. Cependant, il y avait toujours la possibilité de mener l'opération durant une période de lumière du jour partielle. Le fait de mener l'opération deux semaines plus tôt aurait permis à l'équipage de voler dans des conditions de crépuscule. De même, l'équipage aurait pu profiter de 12 heures de soleil si l'opération avait été devancée d'un mois[38]. L'Op BOXTOP est aujourd'hui exclusivement réalisée durant les périodes où le soleil ne se couche jamais[39]. En outre, le niveau de risque accru accepté en décidant de mener l'opération durant une période d'obscurité totale aurait pu être réduit en renforçant les pratiques d'exploitation sécuritaires et en mettant en lumière les risques environnementaux (p. ex. les illusions d'optique) grâce à de la formation d'appoint avant le commencement de l'opération. Ces facteurs sont maintenant pris en compte dans le cadre de l'Op BOXTOP sous forme de formation d'appoint sur l'éveil à la sécurité et les illusions d'optique, intégrée à l'exposé initial fourni aux membres d'équipage avant d'entreprendre des opérations aériennes[40].

Bien que le manque de priorité accordée à la formation en sécurité fût préoccupant, les hauts dirigeants de l'ARC avaient eu l'occasion de réduire le risque opérationnel en installant de l'équipement et des systèmes d'affichage plus modernes à bord du CC130. Même si un radioaltimètre était installé à bord de l'appareil Hercules, le voyant lumineux était situé à l'extérieur de la portée normale de balayage des instruments (« T »). La technologie de système avertisseur audible de proximité du sol était disponible à cette époque. Toutefois, cela n'était pas une priorité sur le plan de l'approvisionnement. Selon les principes de PHAM, un voyant lumineux de radioaltimètre mieux situé, ou l'installation d'un système avertisseur vocal de proximité du sol aurait pu s'avérer utile pour éviter l'accident[41].

Fait important à noter, le rapport de fin d'enquête constate que cet accident était le troisième CFIT à survenir en moins de deux ans dans des conditions de vol à vue, de nuit[42]. Il est difficile de comprendre pourquoi la haute direction de l'ARC n'a pas été avisée de cette tendance. Cependant, l'omission de prendre en compte des facteurs apparents communs dans le cadre de ces accidents démontre que la mentalité du Groupe transport aérien était davantage axée sur la réussite opérationnelle que sur la sécurité.

RÉPERCUSSIONS

Les événements de la soirée du 30 octobre 1991 sont tragiques. Malgré tout, les leçons retenues de cet incident ont engendré plusieurs résultats positifs. Le rapport de fin d'enquête reconnaît qu'un nombre considérable d'échecs sur les plans de la culture et du leadership ont contribué à cet incident, et des mesures ont été mises en œuvre pour corriger ces lacunes. Parmi ces mesures, notons l'examen de l'équipement de survie stocké, la formation à l'utilisation de l'équipement, l'accès de l'équipage à cet équipement ainsi que l'instruction de survie en Arctique obligatoire pour le personnel navigant qui effectue régulièrement des missions dans cet environnement. En outre, les avantages qu'il y a à mettre de l'avant des valeurs conformes aux principes de la GRE et de la PHAM ont été reconnus, et la formation s'y rattachant est devenue un volet obligatoire de l'instruction continue des membres d'équipage en septembre 1993. Les principes de GRE ont joué un rôle additionnel dans le cadre du programme de modernisation de l'équipement électronique, qui a abouti à la réévaluation des systèmes d'affichage d'information et à l'installation du système avertisseur de proximité du sol en 1994[43]. Dans l'ensemble, les leçons retenues de cette catastrophe ont joué un rôle de catalyseur d'une réforme de la sécurité au sein du Groupe transport aérien. Il a été reconnu que bon nombre des mesures correctives possibles étaient déjà disponibles avant l'accident, car elles sont mentionnées dans le rapport de fin d'enquête. La véritable tragédie, c'est qu'il a fallu qu'un accident d'une telle magnitude survienne pour que la direction de l'ARC reconnaisse le besoin d'un changement de culture au sein de son organisation et d'accorder la priorité à une culture axée sur la sécurité.

Parade marquant le 25e anniversaire de l'écrasement du vol 22 de l'Op BOXTOP à la SFC Alert, le 15 juin 2016.

Le personnel continuera d'être la ressource la plus précieuse de l'ARC, et les personnes qui interviennent pour accepter la multitude de défis quotidiens méritent un soutien à la hauteur.

ET ALORS?

Il est primordial d'accorder la priorité à la sécurité et aux communications ouvertes dans le contexte opérationnel d'aujourd'hui et de demain de l'ARC. Au cours des deux dernières décennies, ces valeurs ont constamment évolué. Malgré tout, la vigilance est de mise pour assurer le maintien d'une perspective opérationnelle sans sacrifier la sécurité. Dans l'avenir, le principe de la puissance aérienne énoncé dans la doctrine de l'ARC et préconisant le contrôle centralisé et l'exécution décentralisée continuera de jouer un rôle majeur dans la conduite des opérations, où la prise de décisions et l'acceptation du risque continueront d'être confiées à des commandants de mission et de bord moins expérimentés. Les niveaux d'expérience plus faibles, les pénuries de personnel, le vieillissement des aéronefs et les vols dans des environnements exigeants continueront de mettre l'ARC au défi, et nécessiteront une force professionnelle et disciplinée pour assurer le succès de la mission. Plus important encore, une culture de la sécurité est nécessaire pour veiller au mieux-être des militaires et maintenir en puissance nos capacités pour répondre aux besoins futurs. Le personnel continuera d'être la ressource la plus précieuse de l'ARC[44], et les personnes qui interviennent pour accepter la multitude de défis quotidiens méritent un soutien à la hauteur.

Les besoins en puissance aérienne n'ont jamais été aussi élevés, étant donné la nécessité d'appui aux opérations des FAC au pays et à l'échelle du globe. Comme le souligne la plus récente politique de défense du Canada, cette tendance se poursuivra[45]. Pour répondre à ces besoins, il est essentiel que les hauts dirigeants préconisent la sécurité et les communications ouvertes à l'échelle de l'ARC. Le fait d'adopter de telles habitudes ne fait pas la promotion de l'évitement du risque. Il s'agit plutôt d'accepter le risque, aux bons moments et à un niveau approprié. Les risques ne doivent être acceptés que si cela est nécessaire, lorsque les mesures d'atténuation établies ont été prises, et seulement lorsque les avantages d'accepter de tels risques compensent le coût s'y rattachant. Une perspective axée sur la sécurité opérationnelle facilite ce processus et permet la prise de décisions essentielles, tout en assurant l'équilibre avec les pressions opérationnelles. De plus, les communications ouvertes favorisent un environnement où les membres du personnel sont à l'aise de formuler leurs préoccupations et leurs recommandations, et permettent un dialogue plus constructif. Pour assurer le succès de la mission et protéger le mieux-être des membres de l'ARC, la sécurité et les communications ouvertes doivent être adoptées dans toutes les flottes.

Les points précédents ne visent pas à soutenir que l'ARC ne met pas suffisamment l'accent sur la sécurité. Plutôt, ils servent à renforcer l'idée voulant que cette philosophie soit plus importante que jamais. Les taux de libération actuels réduisent les niveaux d'expérience dans de nombreux

groupes professionnels, et les pénuries de personnel s'y rattachant rehaussent la charge de travail individuelle. Le degré d'automatisation accru permet d'alléger une partie du risque connexe. Cependant, l'emploi efficace de l'automatisation nécessite un degré élevé de diligence, de travail d'équipe et de communication[46]. L'atteinte des objectifs opérationnels nécessitera, à de maintes occasions, que le personnel fasse preuve de créativité, relève d'importants défis et assume des risques accrus. Une culture de sécurité nous permettra d'atteindre ces buts efficacement, tout en protégeant le personnel et en préservant nos capacités opérationnelles. Il ne fait guère de doute que le professionnalisme et l'instinct fondamental des membres de l'ARC à « mener les choses à bien » resteront tels qu'ils sont. Toutefois, il est dans le plus grand intérêt de l'ARC et de ses membres que l'on pondère cette mentalité en mettant davantage l'accent sur la sécurité et en gérant les risques de manière appropriée.

CONCLUSION

Il est généralement considéré que le recours à la puissance aérienne dans les opérations militaires donne un effet multiplicateur et fournit des avantages considérables, du moment que cela est fait efficacement[47]. Cependant, la sécurité doit être soigneusement pondérée au regard du risque et des avantages opérationnels afin d'assurer le mieux-être du personnel et la durabilité à long terme de l'équipement. Le destin de l'équipage du Boxtop 22 et de l'aéronef CC130322 en témoigne. Leur legs se perpétue pour nous rappeler qu'une série d'erreurs humaines évitables peut aboutir à des conséquences désastreuses. L'accident sert aussi à rappeler que ce ne sont pas seulement les actions d'une personne ou les gestes collectifs d'un équipage qui contribuent à la suite d'événements menant à un accident, et que le leadership organisationnel a aussi un important rôle à jouer. Même si de nombreux problèmes ont causé les événements ayant mené à l'écrasement du Boxtop 22 ou y ont contribué, les principales conditions ayant favorisé l'accident étaient dues à l'incapacité des dirigeants de l'ARC (tant à l'échelle des unités qu'à l'échelle institutionnelle) de favoriser une culture de sécurité et de communication ouverte avec les équipages de la flotte de mobilité aérienne.

À maintes reprises durant le vol du Boxtop 22, l'accident aurait pu être évité en mettant en œuvre les principes de la GRE, par exemple une communication claire, un travail d'équipe efficace et des contre-vérifications des données. En outre, les dirigeants de l'ARC auraient pu aider à prévenir cet incident en veillant à ce que l'équipage aérien bénéficie d'une instruction actualisée et d'équipement plus moderne. Même s'il est impossible d'inverser le cours des événements du 30 octobre 1991, nous pouvons nous assurer que les leçons retenues de cette soirée sont transmises aux générations futures de membres d'équipage aérien et éviter qu'un ensemble de circonstances analogues se reproduise en continuant d'équilibrer les pressions opérationnelles avec la culture de sécurité. L'ARC ne peut se permettre d'assumer de nouveau le coût de telles leçons.

Le lieutenant-colonel Erik Rozema-Seaton est un officier de systèmes de combat aérien (OSCA) comptant plus de 3000 heures de vol. Il a volé en tant qu'instructeur/évaluateur sur les appareils CC130H et E-3, et a été affecté dans le cadre de nombreuses opérations autour du globe. Officier d'état-major expérimenté au Commandement des opérations interarmées du Canada, il était aussi commandant de la SFC Alert. Le lieutenant-colonel détient deux maîtrises et est actuellement commandant du 426e Escadron d'entraînement au transport. Le présent article se fonde sur un document qu'il a rédigé pour le cours DS/CF 501 – Campagnes aériennes interarmées modernes, alors qu'il suivait le Programme de commandement et d'état-major interarmées au Collège des Forces canadiennes, Toronto.

ABRÉVIATIONS

CFIT	impact sans perte de contrôle
FAC	Forces armées canadiennes
GRE	gestion des ressources en équipe
ISH	indicateur de situation horizontale
MDN	Ministère de la Défense nationale
NM	mille marin
NMM	niveau moyen de la mer
Op	opération
OSCA	officier de systèmes de combat aérien
PHAM	performance humaine dans l'aviation militaire
SFC	Station des Forces canadiennes
TACAN	navigation aérienne tactique

NOTES

1. Un mille marin est égal à 1852 mètres.

2. D. Huddleston, *Closing Action Report Aircraft Accident CC130322 ("A" Cat) Alert, NWT 30 octobre 1991*, Quartier général du commandement, dossier 1010-130322 (cmdt), 1er juillet 1993. Le terme Forces armées canadiennes a été utilisé du début à la fin du présent article pour éviter toute éventuelle confusion causée par l'emploi du terme historique (Forces canadiennes) et du terme actuel (Forces armées canadiennes).

3. Le terme ARC sera utilisé tout au long du présent document pour éviter la confusion entre le terme historique « Force aérienne du Canada » et le terme actuel « ARC ».

4. Canada, ARC, « Station des Forces canadiennes Alert », consulté le 17 avril 2019. http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/fr/alert.page.

5. Daniel Heidt et Richard Goette, « This is no Milk Run: Operation Boxtop, 1956–2015 », dans *Canadian Arctic Operations, 1941–2015: Lessons Learned, Lost, and Relearned,* Fredericton, The Gregg Centre for the Study of War & Society, 2017. L'auteur était commandant de la SFC Alert de janvier à juillet 2017.

6. Robert Mason Lee, *Death and Deliverance: The True Story of an Airplane Crash at the North Pole,* Golden Colorado, Fulcrum Publishing, 1993, p. 18; Huddleston, *Closing Action Report*, p. 2.

7. Lee, *Death and Deliverance*, p. 27.

8. Lee, *Death and* Deliverance, p. 29 à 31; Huddleston, *Closing Action Report*, p. 2 à 9.

9. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 5, 8 à 10; Lee, *Death and Deliverance*, p. 32 à 35.

10. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 4.

11. Ou 296 km/h.

12. Lee, *Death and Deliverance*, p. 35.

13. Lee, *Death and Deliverance*, p. 38; Huddleston, *Closing Action Report*, p. 5 à 6.

14. Pour consulter les meilleurs comptes rendus du sauvetage du Boxtop 22, se reporter à : John Melady, *Heartbreak and Heroism: Canadian Search and Rescue Stories*, Toronto, Dundurn Press, 1997, p. 151 à 174; Lee, *Death and Deliverance*.

15. Pamela Tsang et Michael Vidulich, *Principles and Practice of Aviation Psychology*, Boca Raton, Floride, CRC Press, 2003, p. 476; John Wise, David Hopkin et Daniel Garland, *Handbook of Aviation Human Factors,* Boca Raton, Floride, CRC Press, 2010, p. 10-1 à 10-16.

16. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 11.

17. James Reason, « Human Error: Models and Management », *British Journal of Management,* vol. 320, nº 7237 (mars 2000), p. 768.

18. Canada, Ministère de la Défense nationale (MDN), A-PD-050-HPM/PT-001, *Human Performance in Military Aviation (HPMA) Handbook*, chapitre 4.

19. Canada, MDN, A-PD-05-HPM/PT-001, *HPMA*; Allan English, *Understanding Military Culture: A Canadian Perspective,* Montréal, McGill-Queen's University Press, 2004, p. 10 à 21; Wise et coll. *Handbook of Aviation Human Factors*, p. 10-6 à 10-8.

20. Canada, MDN, A-PA-005-000/AP-001, *Servir avec honneur* : *la profession des armes au Canada,* Ottawa, Académie canadienne de la Défense – Institut de leadership des Forces canadiennes, 2009, p. 14 à 36.

21. Canada, MDN, A-PA-005-000/AP-004, *Le leadership dans les Forces canadiennes : fondements conceptuels,* Ottawa, Académie canadienne de la Défense, Institut du leadership des Forces canadiennes, 2005, p. 19 à 26.

22. Canada, MDN, A-PA-005-000/AP-001, *Servir avec honneur*, p. 6, 17-18, 52-54; Canada, MDN, A-PA-005-000/AP-003, *Le leadership dans les Forces canadiennes : Doctrine*, Ottawa, Académie canadienne de la Défense, Institut du leadership des Forces canadiennes, 2005, p. 28-31; Ross Pigeau et Carol MCCann, « Une nouvelle conceptualisation du commandement et du contrôle », *Revue militaire canadienne,* vol. 3, nº 1 (printemps 2002), p. 60.

23. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 5 à 8.

24. L'auteur était un OSCA à bord d'un CC130 de janvier 2004 à juillet 2009 et détenait la qualification d'agent de la formation et des normes; Allan English et John Westrop, *Canadian Air Force Leadership and Command: The Human Dimension of Expeditionary Air Force Operations,* Trenton, Centre de guerre aérospatiale des Forces canadiennes, 2007, p. 158 à 159.

25. English et Westrop, *Canadian Air Force Leadership and Command*, p. 188 à 190; Canada, MDN, A-PA-005-000/AP-004, *Le leadership dans les Forces canadiennes : fondements conceptuels*, p. 20.

26. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 2.

27. Canada, MDN, A-PD-050-HPM/PT-001, *HPMA*, chap. 2.

28. Canada, MDN, A-PD-050-HPM/PT-001, *HPMA*, p. 1-3.

29. Canada, MDN, A-PD-050-HPM/PT-001, *HPMA*, p. 2-1 à 2-8.

30. Canada, MDN, A-PD-05-HPM/PT-001, *Human Performance*, p. 4-3 à 4-10, 4-14 à 4-21.

31. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 11.

32. Canada, MDN, A-PA-005-000/AP-004, *Le leadership dans les Forces canadiennes : les fondements conceptuels*, p. 48 à 49.

33. Randall Wakelam, « Les forces aériennes et la sécurité des vols : une culture qui tolère la désobéissance? », dans *Les insubordonnés et les insurgés*, éd. Howard Coombs, Toronto, The Dundurn Group. 2007, p. 341 à 342.

34. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 10 à 12.

35. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 9.

36. Richard Jensen, *Pilot Judgment and Crew Resource Management,* Burlington, Ashgate Publishing Company, 1995, p. 115 à 117.

37. Canada, MDN, A-PD-050-HPM/PT-001, *HPMA*, chapitre 8.

38. George Stewart, conversation téléphonique avec l'auteur, 19 mars 2018. M. Stewart travaille comme coordonnateur du transport aérien et de la logistique au bureau de gestion d'Alert de la 8e Escadre Trenton, poste qu'il occupe depuis plus de 30 ans.

39. L'auteur travaillait comme commandant de la SFC Alert de janvier à juillet 2017; « Sunrise, Sunset, and Day Length », TimeandDate.com, consulté le 17 avril 2019, https://www.timeanddate.com/sun/canada/alert; Canada, MDN, « Opération Boxtop », consulté le 17 avril 2019, https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/services/operations/operations-militaires/operations-en-cours/operation-boxtop.html.

40. Colonel Colin Keiver, *O op 002/117 Op BOXTOP I/17 : 20 avril au 6 mai 2017*, Base des Forces canadiennes Trenton, dossier 3350-1 (Plans 8 Ere), 28 mars 2017. L'auteur était un OSCA à bord d'un CC130 de janvier 2004 à juillet 2009 et détenait la qualification d'agent de la formation et des normes. Il a pris part à trois opérations BOXTOP.

41. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 4 à 12; et Lee, *Death and Deliverance*, p. 26 à 35.

42. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 8.

43. Huddleston, *Closing Action Report*, p. 10 à 11.

44. Canada, MDN, A-GA-007-00/AF-008, *Vecteurs de la Force aérienn*e, 2014, p. 32, 43; Canada, MDN, *Protection, Sécurité, Engagement* : *La politique de défense du Canada,* 2017, chapitre 1.

45. Canada, MDN, *Protection, Sécurité, Engagement;* Canada, MDN, « Opérations militaires », consulté le 17 avril 2019, à l'adresse https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/services/operations/operations-militaires.html..

46. Canada, MDN, A-PD-050-HPM/PT-001, *HPMA*, chapitre 10.

47. Canada, MDN, B-GA-400-000/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne,* 2016, p. 1-5; Canada, MDN, A-GA-007-000/AF-008, *Vecteurs de la Force aérienne*, p. 7-23.

SPACEX

INTÉGRATION DE L'ESPACE :

COMMENT INTÉGRER LES DONNÉES SPATIALES DANS LES OPÉRATIONS AÉRIENNES AFIN DE GARANTIR QUE L'ARC DEMEURE CRÉDIBLE ET PERTINENTE

PAR LE CAPITAINE MELISSA CHANDLER

Dans la coiffe de cette fusée Falcon 9 de SpaceX se trouvent les trois satellites de la mission de la Constellation RADARSAT, dont le lancement a eu lieu le lendemain depuis la base aérienne Vandenberg, en Californie.

Photo : Agence spatiale canadienne

Note de la rédaction : Le présent travail a été rédigé par un participant au Cours sur la puissance aérienne et spatiale dans les opérations afin de satisfaire à l'une des exigences de son programme d'études.

Pour ceux qui travaillent au sein de la communauté de la défense, il apparaît de plus en plus clairement que le domaine spatial tient un rôle de plus en plus central dans les opérations militaires en cours. L'espace offre aux forces de défense une meilleure connaissance de la situation (CS), ce qui permet une collecte de renseignement de qualité supérieure à l'appui de diverses missions, y compris, mais sans s'y limiter, le ciblage et la défense antimissile[1]. Malgré la gamme complète des opérations de combat de la guerre moderne, y compris le rôle essentiel joué par les capacités spatiales, la doctrine de l'Aviation royale canadienne (ARC) n'évoque que très brièvement les effets, les opérations et les principes de base de la capacité spatiale[2]. Ce n'est qu'il y a environ un an, en juin 2017, qu'une version préliminaire d'une note de doctrine sur la puissance spatiale a été publiée en format électronique uniquement[3]. À l'heure actuelle, l'ARC reste en deçà de certains de ses alliés les plus proches (p. ex., les États-Unis [É.-U.], le Royaume-Uni et l'Australie)[4] dans la mesure où elle n'a pas encore établi une doctrine spatiale solide et autonome qui lui soit propre, ce qui est un signe qu'elle ne reconnaît pas suffisamment l'espace comme un important multiplicateur de force. Afin de veiller à ce que l'ARC demeure crédible et pertinente, on ne doit pas se contenter d'utiliser les capacités spatiales, mais on doit les intégrer aux opérations aériennes. En introduisant des données spatiales dans le Centre multinational d'opérations aériennes (CAOC), et en diffusant ces données aux plateformes aéroportées, la capacité opérationnelle s'améliorera tant au pays qu'à l'étranger.

AFIN DE VEILLER À CE QUE L'ARC DEMEURE CRÉDIBLE ET PERTINENTE, ON NE DOIT PAS SE CONTENTER D'UTILISER LES CAPACITÉS SPATIALES, MAIS ON DOIT LES INTÉGRER AUX OPÉRATIONS AÉRIENNES.

Diverses ressources spatiales de commandement, de contrôle, de communication, d'informatique, de renseignement, de surveillance et de reconnaissance (C4ISR) peuvent être utilisées par l'ARC pour améliorer sa capacité opérationnelle. On peut avoir recours aux satellites pour la détection des missiles; la surveillance de l'environnement; les communications par satellite; la localisation; la navigation; la synchronisation; ainsi que pour le renseignement, la surveillance et la reconnaissance (RSR)[5]. La plus récente politique de défense du Canada *Protection, Sécurité, Engagement* stipule que les Forces armées canadiennes (FAC) acquerront « du matériel de surveillance spatiale afin d'augmenter considérablement leur capacité de renseignement, de surveillance et de reconnaissance interarmées. Ces nouvelles plateformes seront intégrées au matériel existant afin de créer un système de systèmes interarmées réseauté qui assurera la circulation d'information en temps réel qui est essentielle à la réussite des opérations[6]. » À ce titre, l'ARC cherche actuellement à développer ou à participer aux capacités satellitaires suivantes : RADARSAT (pour une surveillance très précise dans l'Arctique), les constellations multisatellites de communications dans l'Arctique et le Système mondial de communications par satellite à larges bandes SATCOM des États-Unis (afin d'améliorer l'accès à des communications mondiales sécurisées)[7].

RADARSAT-2, conçu pour une durée de mission de sept ans, est doté d'une technologie avancée de radar à synthèse d'ouverture et appuie tous les modes d'acquisition de RADARSAT-1 tout en offrant plusieurs nouvelles capacités puissantes.

Photo : Maxar Technologies Ltd.

Le plus grand avantage des ressources spatiales susmentionnées est, vraisemblablement, la capacité à opérer à plus de 100 kilomètres au-dessus de la surface de la Terre, ce qui permet de couvrir sans restriction des territoires pour lesquels l'accès est interdit[8]. En revanche, ces ressources spatiales sont sensibles aux conditions météorologiques et leurs horaires de passage peuvent être prévisibles[9]. En raison de leurs orbites prévisibles, les ressources spatiales sont à la merci de pratiques d'interdiction et de tromperie, y compris le contrôle du moment auquel les ressources émettent et le camouflage des biens[10]. De plus, en fonction des conditions météorologiques, une trop grande couverture nuageuse peut nuire à la capacité d'un satellite à « voir » ce qui se passe au sol. Les ressources spatiales sont également très coûteuses et difficiles d'accès lorsque des réparations sont nécessaires[11].

En plus d'exploiter diverses capacités de C4ISR, l'ARC doit également examiner les changements qui peuvent être apportés afin de mieux intégrer les données spatiales dans les opérations aériennes, comme l'introduction d'une composante des opérations spatiales dans le CAOC. À l'heure actuelle, aucun expert en matière d'espace ne fait physiquement partie du CAOC. De ce fait, le CAOC doit faire appel au Centre des opérations spatiales canadiennes (CANSpOC) lorsqu'un soutien spatial est requis au cours du cycle d'attribution des missions aériennes[12]. En raison de la séparation physique entre le CAOC (situé à Winnipeg) et le CANSpOC (situé à Ottawa), on constate des retards inhérents dans la transmission de l'information[13]. De tels délais sont susceptibles de retarder le processus de planification des missions ou de ne pas permettre à la planification des missions de se dérouler en disposant de l'ensemble des renseignements essentiels.

En intégrant un conseiller principal dans le domaine spatial auprès du commandant de la composante aérienne de la force interarmées (CCAFI) dans le CAOC, un vaste éventail d'expertises pourraient être rapidement offertes dans ce domaine afin de fournir des conseils sur la planification, l'exécution et l'évaluation des opérations spatiales[14]. Au sein de l'United States Air Force (USAF),

LORSQU'IL S'AGIT D'UNE MISSION D'ATTAQUE, IL EST ESSENTIEL QU'UN PILOTE DE CHASSE POSSÈDE TOUS LES RENSEIGNEMENTS ET LES DONNÉES DONT IL A BESOIN POUR S'ASSURER QUE LA CIBLE QU'IL ATTAQUE EST LÉGITIME.

le conseiller principal dans le domaine spatial susmentionné porte le titre de directeur des forces spatiales (DIRSPACEFOR). Le DIRSPACEFOR « a pour objectif d'intégrer l'espace à toutes les parties du processus de planification des opérations pour l'ensemble de la force interarmées... [et de faire en sorte que] les experts en matière d'espace sont clairement identifiés et affectés dans l'ensemble du CAOC, et les capacités spatiales alliées et les menaces spatiales ennemies sont comprises et dûment prises en considération lors de la planification et de l'exécution des opérations[15] ». Bien que les FAC disposent d'un commandant de la composante spatiale (CCS), celui-ci relève actuellement du commandement opérationnel du Commandement des opérations interarmées du Canada (COIC), et non du CCAFI. En intégrant un conseiller principal et divers experts en matière spatiale au CAOC, le CCAFI disposerait d'une CS accrue et, par conséquent, de plus de renseignements sur lesquels fonder ses décisions et établir l'ordre des priorités.

Il est important de noter que l'ARC ne peut pas simplement adopter un modèle semblable à celui des États-Unis, dans la mesure où cela n'est ni réaliste ni responsable compte tenu des différences en matière de taille et de responsabilités de la force[16]. Toutefois, cela ne veut pas dire que le modèle canadien actuel ne peut pas être légèrement remanié pour adopter certains aspects du modèle de l'USAF aux fins d'utilisation par l'ARC. Cette adaptation a déjà commencé. Par exemple, le Combined Space Operations Center (CSpOC) des États-Unis relève du commandement de l'USAF[17]. Jusqu'à tout récemment, le CANSpOC relevait du commandement du vice-chef d'état-major de la défense[18]. Cependant, il relève maintenant de l'ARC. Bien que l'espace ait été mentionné depuis des années dans diverses publications de doctrine aérospatiale de l'ARC, l'organisation spatiale principale des FAC ne relève du commandement de l'ARC que depuis 2018. Il est à noter que le CANSpOC demeure physiquement implanté au COIC. Sans commandement et contrôle directs sur le CANSpOC, l'ARC ne peut pas s'assurer que les ressources spatiales existantes offrent un soutien au CAOC, le cas échéant, car le nombre des ressources spatiales est limité et doit être partagé entre les trois armées. Grâce au passage du CANSpOC sous le commandement de l'ARC et à l'intégration de professionnels militaires du domaine spatial au CAOC, le commandant de l'ARC peut intégrer le domaine spatial dans les opérations aériennes[19]. Bien que le CANSpOC relève du commandement de l'ARC, la puissance aérienne serait mieux exécutée selon le principe d'un contrôle centralisé, afin de s'assurer qu'outre l'ARC, l'Armée canadienne, la Marine royale canadienne ainsi que les forces d'opérations spéciales profitent toutes du domaine spatial.

Une fois que les changements auront été apportés en vue de l'intégration du soutien spatial au CAOC, la diffusion des données spatiales sur les plateformes aéroportées améliorera grandement les opérations au pays et à l'étranger. La transmission de l'information spatiale directement du

CAOC aux plateformes aéroportées permettrait d'accélérer les délais de réaction, ce qui permettrait des probabilités de succès plus élevées en ce qui concerne les missions de recherche et sauvetage nationales ou les opérations cinétiques à l'étranger, pour ne citer que quelques exemples. De plus, le renseignement spatial pourrait directement informer les plateformes aéroportées et leur permettre de recueillir des renseignements détaillés sur diverses cibles d'intérêt[20]. À l'échelle nationale, les données spatiales pourraient être diffusées aux plateformes aéroportées afin d'améliorer les opérations en leur permettant de : « a. surveiller et repérer les navires d'intérêt dans les eaux canadiennes; b. surveiller les activités de pêche se déroulant dans les eaux canadiennes ou à proximité de celles-ci; c. surveiller les activités étrangères se déroulant dans les eaux canadiennes ou à proximité de celles-ci; d. surveiller le territoire souverain du Canada ainsi que ses approches pour détecter les activités illégales ou suspectes[21] ». Le fait d'avoir la capacité de diffuser des données spatiales directement aux plateformes aéroportées concernant l'une ou l'autre des activités mentionnées ci-dessus permettrait d'améliorer la capacité opérationnelle. Plus les membres d'équipage des plateformes aéroportées disposent de renseignements pendant les missions de surveillance nationales (p. ex., activités de pêche illégale, contrebande de drogues, etc.), plus les chances seront grandes de repérer rapidement et avec succès des activités illégales. Une fois ces activités repérées, les mesures adéquates peuvent être prises pour mettre un terme à ces actions illicites.

En ce qui concerne les opérations outre-mer, comme les missions cinétiques, les capacités spatiales, y compris les activités de reconnaissance et de surveillance par l'intermédiaire d'une capacité satellitaire de radars à synthèse d'ouverture[22], peuvent grandement améliorer la CS d'un pilote de chasse en vol. De telles données spatiales diffusées sur une plateforme aéroportée peuvent fournir rapidement des renseignements supplémentaires sur une cible ou une zone cible précise (p. ex., mode de vie, présence de non-combattants, etc.). Lorsqu'il s'agit d'une mission d'attaque, il est essentiel qu'un pilote de chasse possède tous les renseignements et les données dont il a besoin pour s'assurer que la cible qu'il attaque est légitime. Les ramifications politiques éventuelles et d'autres conséquences innombrables (p. ex., effet sur le bien-être émotionnel/mental, perte de travail, etc.) de la suppression d'une cible non légitime sont trop importantes.

En conclusion, il existe une variété de capacités spatiales qui peuvent (et devraient) être exploitées par l'ARC pour non seulement permettre, mais également améliorer l'efficacité opérationnelle aérienne. Les systèmes de satellites peuvent être utilisés entre autres choses pour les communications, la navigation et la RSR. Bien que les satellites aient l'avantage non négligeable de fournir une couverture étendue et de couvrir sans restriction des territoires pour lesquels l'accès est interdit, leur sensibilité aux mauvaises conditions météorologiques ainsi qu'aux pratiques d'interdiction et de tromperie doit toujours être prise en compte. Pour s'assurer que l'information rendue disponible par l'intermédiaire des ressources C4ISR spatiales est utilisée de façon efficace, les données spatiales doivent régulièrement figurer dans le cycle d'attribution des missions aériennes au CAOC. Pour ce faire, des experts en matière spatiale devraient être physiquement affectés à Winnipeg tout comme le reste de l'état-major de planification. On doit envisager l'intégration d'un conseiller principal dans le domaine spatial au CCAFI. Il pourrait s'agir d'un DIRSPACEFOR ou d'un CCS. La présence d'experts en matière spatiale au sein du CAOC permettrait de s'assurer que les données recueillies dans l'espace sont reçues par les plateformes aéroportées, améliorant ainsi la CS des opérateurs de façon opportune. Avec l'accroissement de la CS, les opérateurs seraient en mesure de prendre des décisions plus éclairées – éventuellement dans des situations de vie ou de mort.

Le capitaine Melissa Chandler s'est enrôlée dans les Forces armées canadiennes en 2008 et a étudié au Collège militaire royal du Canada à Kingston, en Ontario, où elle a obtenu un baccalauréat ès arts (avec distinction) en politique en 2012. Une fois diplômée, elle a achevé la phase commune de l'Armée de terre, puis a occupé pendant neuf mois un emploi au sein du 21e Régiment de guerre électronique à la Base des Forces canadiennes Kingston. Elle a terminé avec succès le cours élémentaire d'officier du renseignement et a participé à une mission en tant qu'officier du renseignement d'un détachement de chasseurs au Koweït (Opération IMPACT, Roto 1). À son retour, elle a occupé le poste d'officier du renseignement au 409e Escadron d'appui tactique. En 2016, elle a terminé avec succès le cours d'instructeur de guerre électronique tactique. Elle a participé aux exercices MAPLE FLAG 49 et RED FLAG 163 (Alaska). Après avoir participé à l'exercice MAPLE FLAG 50 en août 2017, le capitaine Chandler a participé en tant qu'officier de renseignement d'un élément de soutien des opérations à sa deuxième affectation opérationnelle (Op REASSURANCE – Roumanie) et est rentrée au pays au début 2018. Le capitaine Chandler quittera bientôt la 4e Escadre Cold Lake pour une affectation auprès du NORAD/United States Northern Command à Colorado Springs.

ABRÉVIATIONS

ARC	Aviation royale canadienne
C4ISR	commandement, contrôle, communications, informatique, renseignement, surveillance et reconnaissance
CANSpOC	Centre des opérations spatiales canadiennes
CAOC	centre multinational d'opérations aérospatiales
CCAFI	commandant de la composante aérienne de la force interarmées
CCS	commandant de la composante spatiale
COIC	Commandement des opérations interarmées DU Canada
CS	connaissance de la situation
DIRSPACEFOR	Director of Space Forces (É.-U.)
É.-U.	États-Unis
FAC	Forces armées canadiennes
MDN	Ministère de la Défense nationale
RSR	renseignement, surveillance et reconnaissance
USAF	United States Air Force

NOTES

1. Sanjay Poduval, « China's Military Space Capabilities », *Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India*, vol. 7, nº 2 (2011), p. 85-101; S. Didi Kuo, « High Ground over the Homeland: Issues in the Use of Space Assets for Homeland Security », *Air & Space Power Journal*, vol. 17, nº 1 (2003), p. 47; et Mitchell R. Overton, « Purposeful Development of Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance for Space Cadre », *Air & Space Power Journal*, vol. 28, nº 6 (2015), p. 33.

2. Matthew Thompson, « Distinguer le domaine "spatial" de l'aérospatial : une analyse de la doctrine spatiale des Forces armées canadiennes », *Revue de l'Aviation royale canadienne* vol. 6, nº 3 (été 2017), p. 88, consulté le 24 avril 2019, http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/fr/centre-guerre-aerospatiale-fc/bibliotheque-electronique/la-revue/2017-vol6-no3-ete.page.

3. Canada, ministère de la Défense nationale (MDN), Aviation royale canadienne, note de doctrine aérienne 17/01, *Puissance spatiale*, 2017.

4. Thompson, « Distinguer le domaine "spatial" de l'aérospatial », p. 81, 84-85.

5. Richard Moulton, « L'intégration de l'espace et le Centre multinational d'opérations aérospatiales », *InFormer*, nº 34, Trenton (Ontario), Centre de guerre aérospatiale de l'ARC, août 2017.

6. Canada, MDN, *Protection, Sécurité, Engagement*, Ottawa, MDN, 2017, p. 15, consulte le 24 avril 2019, http://dgpaapp.forces.gc.ca/fr/politique-defense-canada/index.asp.

7. Thompson, « Distinguer le domaine "spatial" de l'aérospatial », p. 84-85.

8. Canada, MDN, B-GA-401-002/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne : renseignement, surveillance et reconnaissance*, Trenton (Ontario), Centre de guerre aérospatiale de l'ARC, 2017, p. 20, consulté le 24 avril 2019, http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/fr/centre-guerre-aerospatiale-fc/doctrine-aerospatiale.page.

9. Canada, MDN, B-GA-402-000/FP-001, *Doctrine aérospatiale des Forces canadiennes* – Détection, Trenton (Ontario), Centre de guerre aérospatiale de l'ARC, 2012, p. 48; et Canada, MDN, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne : renseignement, surveillance et reconnaissance*, B-GA-401-002/FP-001, p. 20.

10. Canada, MDN, B-GA-401-002/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne : renseignement, surveillance et reconnaissance*, p. 20.

11. Canada, MDN, B-GA-401-002/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne : renseignement, surveillance et reconnaissance*, p. 20.

12. Moulton, « L'intégration de l'espace et le Centre multinational d'opérations aérospatiales ».

13. Moulton, « L'intégration de l'espace et le Centre multinational d'opérations aérospatiales ».

14. États-Unis, USAF, *Air Force Instruction 13-1AOC*, vol. 3, *Operational Procedures– Air Operations Center (AOC)*, Change 1, Secretary of the Air Force, 2012, p. 102.

15. Richard Moulton, « Intégration de l'espace dans les opérations des Forces armées canadiennes », *Revue de l'Aviation royale canadienne*, vol. 4, nº 1 (hiver 2015), p. 14, consulté le 24 avril 2019, http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/fr/centre-guerre-aerospatiale-fc/bibliotheque-electronique/la-revue/2015-vol4-no1-04-integration-de-lespace-dans-les-operations-des-forces-armees-canadiennes.page.

16. Moulton, « Intégration de l'espace dans les opérations des FAC », p. 14.

17. Moulton, « Intégration de l'espace dans les opérations des FAC », p. 14.

18. Moulton, « Intégration de l'espace dans les opérations des FAC », p. 14.

19. Moulton, « L'intégration de l'espace et le Centre multinational d'opérations aérospatiales ».

20. Canada, MDN, B-GA-401-002/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne : renseignement, surveillance et reconnaissance*, p. 39.

21. Canada, MDN, B-GA-401-002/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne : renseignement, surveillance et reconnaissance*, p. 39.

22. Christian F. Anrig, « Allied Air Power over Libya: A Preliminary Assessment », *Air & Space Power Journal*, vol. 25, nº 4 (2011), p. 94.

Analytique de l'apprentissage

Par le major David Dunwoody, CD

L'instruction est un élément essentiel de l'Aviation royale canadienne (ARC). Le *Cours d'instructeur de vol – Manuel de l'instructeur de vol* reconnaît cela dans le premier paragraphe : « L'instruction constitue une des fonctions les plus importantes remplies par les [Forces armées canadiennes (FAC)]. De fait, environ le quart de tous les membres du personnel des [FAC] prennent part à l'instruction d'une façon ou d'une autre. En raison de la demande croissante de services militaires de plus en plus variés, attribuable à l'évolution de la situation internationale et aux rapides progrès technologiques, l'instruction est devenue une activité fondamentale des [FAC][1]. »

« Les Forces armées canadiennes doivent leur fournir une instruction moderne et de premier ordre qui leur donnera de solides bases pour réussir. »

Le commandant d'escadrille Grob, le capitaine Eric Martinat, accueille un nouveau groupe de stagiaires au Southport Aerospace Centre situé à Portage la Prairie, au Manitoba, le 10 octobre 2013.

Le ministère de la Défense nationale (MDN) a bien compris l'importance de l'instruction dans le cadre de la politique de défense du Canada *Protection, Sécurité, Engagement* de 2017, qui stipule : « Les Forces armées canadiennes doivent leur fournir une instruction moderne et de premier ordre qui leur donnera de solides bases pour réussir[2]. » L'ARC comprend également l'importance de l'instruction par la mise sur pied d'une force. La doctrine B-GA-400-000/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne*, indique que « la mise sur pied d'une force comprend un vaste éventail d'activités, y compris le recrutement, l'instruction, l'éducation et le maintien en poste du personnel adéquat. Ces activités sont essentielles à la disponibilité opérationnelle d'une force compétente capable d'accomplir toutes les missions de la puissance aérienne[3]. »

De nombreux membres de l'ARC sont fiers de leurs rôles d'instructeurs, d'éducateurs et de formateurs (ci-après appelés collectivement instructeurs). Leur but est de mettre sur pied « des forces armées agiles, instruites, flexibles, reflétant la diversité canadienne et prêtes au combat[4] ».

Grâce au portail d'apprentissage du Réseau d'apprentissage de la Défense (RAD), les unités et les organisations sont en mesure d'atteindre de nombreux stagiaires au moment qui convient à chacun d'eux.

Leur professionnalisme et leur dévouement sont évidents dans la qualité de l'instruction observée à l'échelle de l'ARC. Ces professionnels s'efforcent d'offrir la meilleure instruction possible et cherchent toujours à améliorer le produit éducatif. Pour eux, ce qui est bien n'est jamais assez bien. Le défi consiste à déterminer où concentrer les ressources limitées pour améliorer l'instruction.

L'instruction au sein de l'ARC continue d'être axée sur les technologies et la recherche de modes de prestation novateurs. Les cours et les programmes d'apprentissage à distance (AD) ou d'enseignement à distance continuent de croître au sein de l'ARC. En éliminant le besoin de présence physique et de calendriers fixes, l'AD offre une souplesse et un apprentissage ouvert. Grâce au portail d'apprentissage du Réseau d'apprentissage de la Défense (RAD), les unités et les organisations sont en mesure d'atteindre de nombreux stagiaires au moment qui convient à chacun d'eux. Le RAD est un outil en ligne conçu pour gérer, élaborer et offrir une instruction axée sur l'apprentissage continu et le partage des connaissances[5]. L'un des défis associés aux cours d'AD est d'évaluer l'efficacité de la communication du matériel et du niveau de participation de l'apprenant.

Le domaine de l'analytique de l'apprentissage vise à déterminer l'efficacité de l'instruction et de l'éducation relative à un cours. Il s'efforce de déterminer où et comment optimiser et améliorer l'instruction au moyen du matériel de cours, des cours offerts et de la participation des apprenants. L'analytique de l'apprentissage présente des techniques de forage de données, des analyses qualitatives et quantitatives ainsi que des outils permettant aux instructeurs d'acquérir les connaissances et la sagesse nécessaires pour améliorer la formation.

Analytique de l'apprentissage

En tant que professionnels, les instructeurs doivent toujours chercher à améliorer leurs fonctions. Il ne s'agit pas de réparer ce qui est brisé, mais de trouver des moyens d'améliorer l'efficacité de ce qui fonctionne. Les unités de formation de l'ARC accomplissent un travail remarquable, comme en témoigne la qualité des techniciens d'aéronefs, des équipages, des ingénieurs et des aviateurs, qui veillent à ce que l'ARC remplisse les mandats prescrits en matière d'instruction, de soutien et d'opérations. Il est important de reconnaître que l'accent est souvent mis sur la résolution des problèmes plutôt que sur l'amélioration de ce qui fonctionne déjà. Cela est évident dans le libellé de plusieurs passages du Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes (SIIEFC). Le volume 8 du SIIEFC, « Validation des programmes d'instruction », indique que le but de la validation des programmes d'instruction est de « déceler toute occurrence notable d'instruction inefficace ou inefficiente afin d'y remédier[6] ». Le volume 11, « Évaluation des programmes d'instruction », indique qu'une évaluation « peut être entreprise à n'importe quel moment en réponse à des réactions négatives[7] » et « peut porter sur un sujet de préoccupation particulier[8] ». Par conséquent, l'accent est mis sur des instructions inférieures à la norme qui ne répondent pas à la norme, plutôt que sur des programmes offrant une instruction de qualité et conformes à la norme.

Le SIIEFC fournit des directives pour l'analytique de l'apprentissage. Le volume 11 décrit le modèle d'évaluation de Kirkpatrick[9]. Ce modèle décrit quatre niveaux d'évaluation :

1. Niveau 1 (Réaction) — Indique comment les apprenants réagissent au programme d'instruction;

2. Niveau 2 (Apprentissage) — Confirme ce que les apprenants ont appris;

3. Niveau 3 (Transfert) — Confirme que ce qui a été appris est appliqué au travail;

4. Niveau 4 (Résultats) — Confirme que l'application de ce qui a été appris donne des résultats dans l'organisation.

Ces niveaux décrivent les étapes pour évaluer un programme, mais pas comment. Le volume 11, supplément 1, « Les techniques d'évaluation des programmes d'instruction », traite des méthodes visant à recueillir, à analyser et à déterminer les conclusions à partir des données[10]. Bon nombre des méthodes de collecte de données se fondent sur des outils utilisés depuis des années, notamment les critiques de cours, les entrevues et les commentaires directs. L'analyse porte sur l'utilisation des statistiques, le codage des données et les graphiques. Même si ces méthodes sont utiles, elles ne tirent pas parti des méthodes modernes d'analyse de données qualitatives et quantitatives utilisées dans l'analytique de l'apprentissage.

L'analytique de l'apprentissage est la « mesure, la collecte, l'analyse et la communication de données sur les apprenants et leurs contextes, dans le but de comprendre et d'optimiser l'apprentissage et les environnements dans lesquels il se produit[11] ». Cette définition est axée sur la collecte de données, l'apprenant et l'environnement d'apprentissage. La définition ne mise ni sur des problèmes ni sur les enjeux, mais plutôt sur l'amélioration de l'apprentissage. Cette définition comporte deux parties importantes : « l'optimisation de l'apprentissage » et « l'environnement ».

L'optimisation de l'apprentissage vise l'amélioration de la façon dont l'élève apprend le matériel. Cette analyse est faite au fur et à mesure que l'apprenant apprend, et non après. L'un des grands inconvénients de l'apprentissage est que les instructeurs confirment qu'un apprenant a des difficultés après avoir passé un examen écrit ou pratique. Même si de nombreux instructeurs sont en mesure de déceler les problèmes potentiels, les examens fournissent la confirmation nécessaire pour prendre des mesures. Le principal problème de cette approche est qu'à ce stade, l'apprenant a déjà un échec scolaire. La norme de qualification de l'opérateur de systèmes de combat aérien définit l'échec à un cours théorique comme l'échec à un examen de reprise, à une évaluation des progrès supplémentaire ou à toute combinaison de trois évaluations des progrès et examens finaux[12]. Selon les critères de trois examens, lorsqu'un apprenant échoue, il compte maintenant un échec. Si un instructeur peut déterminer et résoudre les problèmes avant un examen, l'apprenant est mieux placé pour réussir et éviter les échecs qui le rapprochent de l'échec au cours. Pour ce faire, l'analytique de l'apprentissage recueille et analyse les données relatives au parcours, au comportement et aux progrès d'un apprenant[13].

L'environnement détermine l'objectif d'améliorer la façon dont les instructeurs donnent les directives. L'analytique de l'apprentissage précise des modèles et des domaines dans lesquels un institut pédagogique peut apporter des modifications pour améliorer l'apprentissage. Les instituts qui utilisent l'apprentissage à distance peuvent déterminer le niveau de participation d'un apprenant lorsqu'il accède au contenu en ligne. Cela peut permettre de déterminer si l'unité d'un apprenant lui donne le temps de travailler sur des travaux pendant les heures de travail ou s'il doit effectuer la majorité des travaux après les heures normales.

L'analytique de l'apprentissage est un processus qui appartient à la discipline du forage de données éducationnelles. Le forage de données éducationnelles ne diffère pas du forage de données, si ce n'est que l'application est axée sur les données éducationnelles. Le terme « forage de données » est trompeur, car il suppose la recherche et l'extraction de données. Han, Kamber et Pei définissent le forage de données comme étant le « processus permettant de découvrir des tendances intéressantes

et d'acquérir une connaissance à partir de grandes quantités de données[14] ». L'expression « extraction de connaissances dans les données » est une expression populaire et peut-être plus précise pour le forage de données. Cependant, de nombreuses personnes continuent d'utiliser l'expression forage de données pour tenir compte de l'étape essentielle dans le processus d'extraction des connaissances; par conséquent, cet article continuera d'utiliser l'expression « forage de données ».

La pyramide Données-Information-Connaissances-Sagesse (DICS) (figure 1) illustre l'évolution des données lorsqu'elles sont placées dans le processus de forage de données. La description de chaque niveau de la pyramide est la suivante[15] :

1. Les données sont le fait discret obtenu à partir des résultats des examens, des commentaires sur le cours et des dossiers des apprenants. Ces faits n'ont aucun sens. Un résultat d'examen de 55 n'est qu'un nombre jusqu'à ce que l'institut d'apprentissage le transforme en information.

2. L'information est une donnée qui a un sens. Elle répond aux questions quoi, où, quand et qui. Appliqué au résultat de l'examen, l'institut d'apprentissage indique que c'est pour l'examen du Règlement de l'Air rédigé par le sous-lieutenant (Slt) Smith et que la note de passage est de 70 %. Il a maintenant un sens avec les données, et l'information leur montre que le Slt Smith a échoué à l'examen du Règlement de l'Air.

3. La connaissance est une information qui a été traitée pour nous montrer des modèles, des relations et des interactions. La connaissance répond aux questions pourquoi et comment. En rassemblant les informations sur les examens précédents du Slt Smith, l'institut d'apprentissage constate que ce dernier a réussi tous les examens jusqu'à présent. Au fur et à mesure que l'institut d'apprentissage recueille de plus en plus d'informations, il en ressort qu'il existe une tendance chez les autres apprenants qui échouent dans cette matière tout en obtenant des résultats positifs dans les autres. De plus, l'information montre que l'examen du Règlement de l'Air a été modifié récemment. Cela explique « pourquoi » les modifications apportées à l'examen n'ont peut-être pas reflété le matériel de cours enseigné.

4. La sagesse est l'utilisation de la connaissance pour résoudre des problèmes et prendre des décisions. L'institut d'apprentissage peut prendre la décision de réévaluer le matériel d'examen du Règlement de l'Air pour s'assurer qu'il est conforme au matériel de cours enseigné.

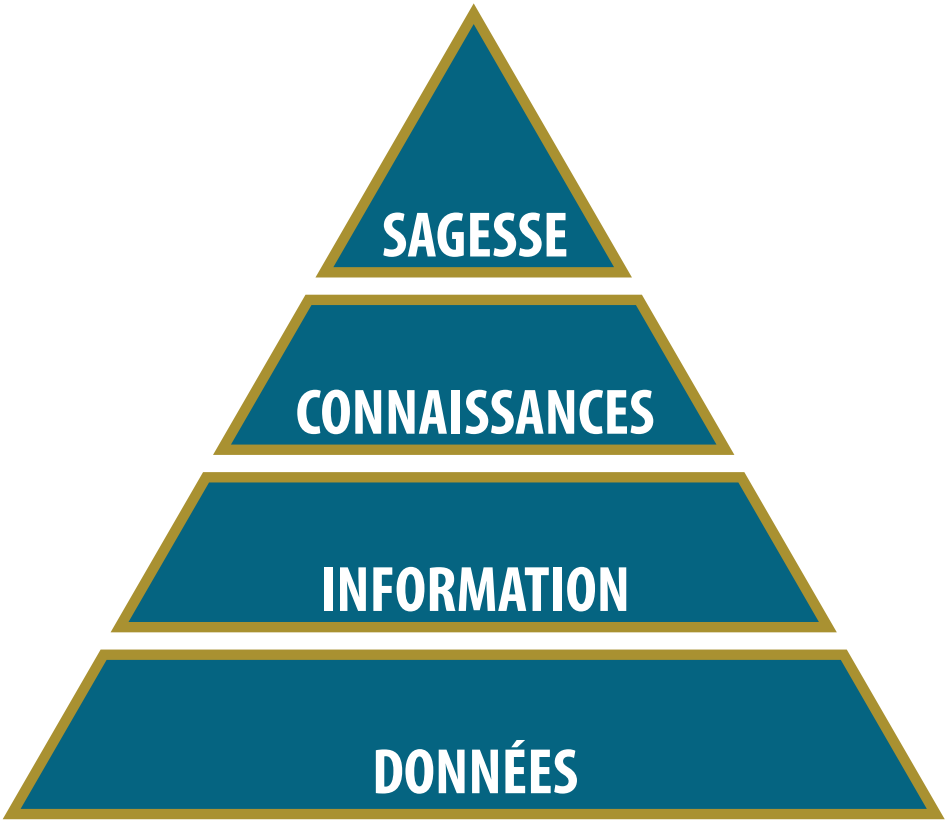

Figure 1. Pyramide DICS

Le forage de données utilise sept étapes pour passer des données aux connaissances d'après la pyramide DICS. La sagesse ne fait pas partie du processus de forage de données, car elle suppose que l'utilisateur humain décide de la manière dont il agira sur les connaissances extraites lors du forage de données. Les sept étapes sont les suivantes[16] :

1. Nettoyage de données — Suppression du bruit et des données incohérentes. Le bruit peut être des données corrompues. Les données incohérentes représentent des données en dehors de la norme et représentent une anomalie. Par exemple, si un apprenant est malade et a manqué un examen, une note de 0 % peut avoir été saisie accidentellement dans le système. Cette note viendrait fausser la moyenne du cours et ne représenterait pas un échantillon correct.

2. Intégration des données — Combinaison de plusieurs sources de données en une. Les résultats des examens peuvent être combinés avec les données du Sommaire des dossiers du personnel militaire (SDPM).

3. Sélection de données — Récupération des données pertinentes pour l'analyse. Le forage de données n'exige pas toutes les données pour l'analyse. Un SDPM contient une grande quantité d'informations, notamment des antécédents professionnels, des distinctions

honorifiques et des récompenses, ainsi que des qualifications. Une analyse ne nécessitera probablement pas les données du dernier test de condition physique FORCE [Forme Opérationnelle Requise dans le Cadre de l'Emploi] de l'apprenant.

4. Transformation de données — Transformation et consolidation de données dans des formes appropriées au forage. Le fait de transformer les grades en intervalles de 5 % (70 à 74 %, 75 à 80 %, etc.) peut produire des résultats plus significatifs. Un autre exemple, le passage d'un grade de la marine de lieutenant(M) [Marine] à capitaine, garantit que l'analyse compare les mêmes grades.

5. Forage de données — Cette étape permet d'extraire des modèles. L'analyse utilise des méthodes et des algorithmes tels que la mise en grappes et la classification pour rechercher des modèles dans les données.

6. Évaluation de modèles — L'utilisateur détermine les modèles vraiment intéressants. Ce ne sont pas tous les modèles qui auront de la valeur. Cette étape trouve ceux qui transformeront l'information en connaissance lors de la prochaine étape.

7. Présentation des connaissances — Présentation des données forées aux utilisateurs à l'aide de visualisations. Il s'agit de la dernière étape où l'utilisateur a la connaissance nécessaire pour passer à l'étape finale de la sagesse et prendre les décisions.

Pour mener à bien le processus de forage de données, il existe un grand nombre d'outils pour recueillir, suivre et analyser les données afin de faciliter la prise de décision dans les instituts d'apprentissage.

Outils

Les systèmes de gestion de cours (SGC), également connus sous le nom de systèmes de gestion de l'apprentissage (SGA), désignent des outils logiciels permettant aux établissements d'enseignement d'élaborer, d'offrir et de contrôler des cours entre les instructeurs et les apprenants. Les fonctionnalités courantes des SGC sont la capacité de transmettre des informations aux apprenants, de produire du contenu, de préparer des évaluations et des tests, de participer à des discussions, de gérer des cours à distance et de permettre un apprentissage collaboratif au moyen de forums, de clavardage et de zones de stockage de fichiers[17]. Il existe plusieurs SGC disponibles sur le marché : Blackboard[18], Adobe Captivate Prime[19] et TalentLMS[20], ainsi que les SGC gratuits : Ilias[21], Claroline Connect[22] et Moodle[23]. En plus de faciliter l'instruction, de nombreux SGC permettent à l'analytique de l'apprentissage de recueillir des données et de les intégrer à des outils tiers.

Moodle est l'un des meilleurs SGC. Moodle est un outil souple et puissant utilisé dans le monde entier. Grâce à Moodle, les instructeurs sont en mesure de créer des environnements d'apprentissage personnalisés pour les cours en ligne et mixtes (en ligne et en interne). L'outil est adaptable à n'importe quelle dimension, de quelques apprenants à des milliers d'utilisateurs. Moodle est continuellement mis à jour pour préserver la sécurité des données et la confidentialité des utilisateurs. Enfin, Moodle est un outil gratuit ouvert[24]. Il est actuellement utilisé par plus de 90 000 établissements d'enseignement, gère plus de 15 000 000 de cours et compte plus de 125 000 000 utilisateurs[25]. Moodle fournit davantage d'outils et de données que le RAD et est utilisé par le Collège militaire royal du Canada et le Collège des Forces canadiennes.

Moodle conserve des enregistrements détaillés pour une analyse plus approfondie. Il enregistre chaque clic effectué par un apprenant à des fins de navigation, le temps écoulé pour les réponses, les notes d'examen, ainsi que les heures et les dates d'ouverture de session. De plus, Moodle enregistre les activités et les discussions de groupe. Il enregistre le temps consacré à certaines activités et le niveau d'achèvement des tâches et des travaux. Malheureusement, les instructeurs et les administrateurs ne peuvent pas interpréter facilement ces données. Moodle stocke les données sous forme de bases de données relationnelles (p. ex., Microsoft Access) contenant environ 145 tableaux interdépendants[26]. Transformer les données Moodle en informations et en connaissances nécessite des outils de forage de données.

Il existe de nombreux outils de forage de données disponibles, à la fois gratuits et sur le marché, permettant d'analyser les données. L'un des plus courants et des plus populaires est Microsoft Excel, qui contient une suite d'outils d'analyse statistique ainsi que des graphiques pour présenter les informations de manière visuelle, fournissant ainsi des données plus pertinentes à prendre en compte lors du processus décisionnel. Un autre outil de forage de données est le logiciel gratuit Weka[27]. Weka est un logiciel de forage de données qui fournit un grand nombre d'algorithmes pour la mise en grappes, la classification et le forage de données d'association. Les utilisateurs de Weka sont en mesure de définir les paramètres d'algorithmes tels que les réseaux neuronaux ou la classification naïve bayésienne pour déterminer les modèles relatifs aux données. Ces outils permettent d'analyser des données quantitatives avec des nombres. Ils ne permettent pas l'analyse des données qualitatives.

L'analyse des données qualitatives permet de cerner le thème prédominant d'une dissertation, de mesurer la force des relations qui existent entre les mots clés et les phrases d'un document et de déterminer son contenu émotionnel.

L'analyse des données qualitatives consiste à analyser des renseignements non numériques comme des documents-textes, des vidéos et des enregistrements audio[28]. L'analyse des données qualitatives permet de cerner le thème prédominant d'une dissertation, de mesurer la force des relations qui existent entre les mots clés et les phrases d'un document et de déterminer son contenu émotionnel. Comme pour les outils précédents, il existe une variété d'outils commerciaux et gratuits d'analyse des données qualitatives. QDA Miner de Provalis Research est un produit commercial d'analyse qualitative de documents-textes, d'images ou de discours[29]. Watson Natural Language Understanding d'IBM permet de cerner le contenu émotionnel d'un document-texte. Cet outil permet de déterminer la probabilité de présence de colère, de tristesse, de joie, de confiance ou d'émotions hésitantes, etc. dans un document-texte[30]. Le formateur peut utiliser cet outil pour déterminer le ton émotionnel d'une dissertation ou déterminer si la rétroaction des apprenants sur le cours est globalement positive ou négative.

Tropes de Semantic Knowledge est un outil d'analyse qualitative de contenu textuel et sémantique gratuit[31]. Il permet de regrouper des mots et des phrases dans différents contextes, tels que *combat, offensif, défensif, engagement et bataille* dans le contexte de la guerre. Tropes indique les relations qui existent entre les mots et relève les mots qu'elles influencent. Il peut analyser jusqu'à 10 000 dossiers et 10 000 000 de mots.

Gephi est un logiciel libre d'analyse, de visualisation et d'examen de réseaux[32]. Il permet de visualiser la force et la direction des relations entre les termes clés d'un document établi par l'outil Tropes. Il filtre et regroupe les résultats d'analyse et permet aux utilisateurs de manipuler l'information de manière à mettre en évidence des tendances significatives porteuses de connaissances.

L'utilisation de Tropes et Gephi nécessitent une formation de la part des utilisateurs qui souhaitent en exploiter toutes les capacités. Ils permettent aux établissements d'enseignement de créer des contextes et des modèles qu'ils peuvent réutiliser dans le cadre de chaque cours. L'analyse peut porter sur des discussions de groupe, la rétroaction sur des cours et des dissertations. Ces outils permettent aux formateurs de visualiser les thèmes communs générés par les apprenants et de déterminer si les apprenants atteignent les objectifs du cours. Les formateurs peuvent aussi utiliser les résultats des apprenants aux évaluations pour cerner les points à améliorer.

Un inconvénient de ces outils est qu'ils n'ont pas d'interface directe avec Moodle. La très grande quantité de renseignements offerts sur cette plateforme constitue une source prodigieuse de connaissances et de sagesse dont l'exploitation peut être facilitée par l'utilisation d'outils permettant d'optimiser l'accès aux renseignements disponibles. GISMO est un logiciel gratuit qui permet aux formateurs d'analyser les données de Moodle.

GISMO est un outil graphique et interactif de surveillance qui produit des graphiques permettant de visualiser les activités des apprenants en ligne[33]. Il permet de visualiser leur niveau d'assiduité au cours et de participation aux devoirs et d'afficher leurs résultats aux examens. Il donne aussi un aperçu des résultats de l'ensemble de la classe ou d'un apprenant en particulier. La figure 2 représente un graphique illustrant le nombre de fois que chaque apprenant a accédé au cours. Le formateur peut sélectionner un apprenant en particulier afin de déterminer le nombre de fois qu'il a accédé au cours et à quelle heure. Ces données aident le formateur à évaluer le niveau de participation d'un apprenant et, par exemple, si l'apprenant a accédé quotidiennement au forum de discussion ou s'il a attendu à la dernière minute pour y participer. Ce graphique indique les apprenants qui ont participé activement au cours et ceux qui n'y ont pas participé. La figure 3 représente un

graphique des résultats des devoirs des apprenants. Les carrés rouges et les carrés blancs au contour rouge indiquent les apprenants qui ont terminé un devoir. Les nuances de rouge dans les carrés donnent un aperçu de l'ensemble des résultats (plus le rouge est foncé, meilleurs sont les résultats). Les carrés blancs au contour rouge indiquent les devoirs qui n'ont pas encore été évalués par le formateur. Ce graphique montre que quatre apprenants n'ont fait aucun devoir et que personne n'a terminé le dernier devoir.

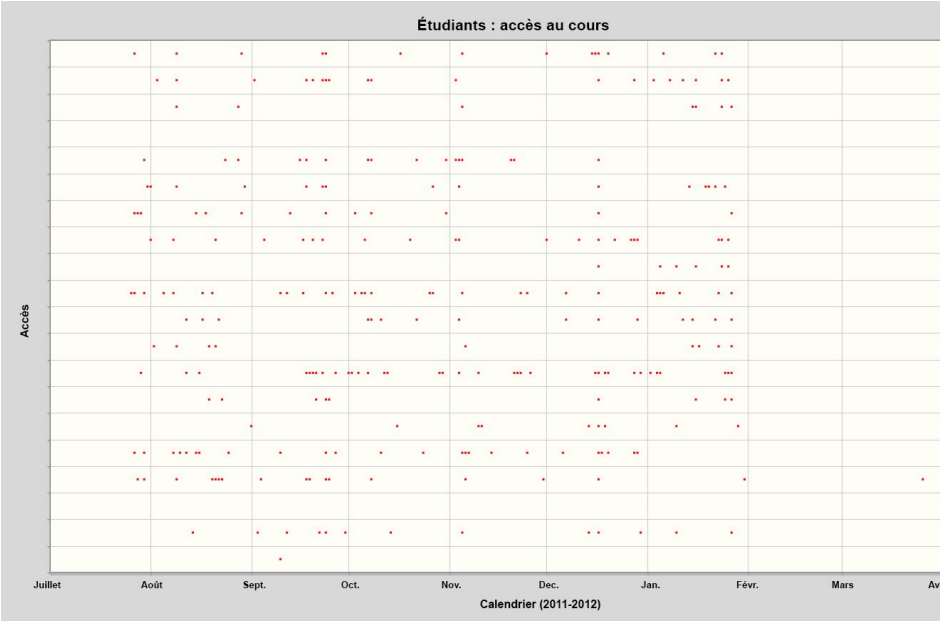

Figure 2. Graphique GISMO de l'assiduité des apprenants[34]

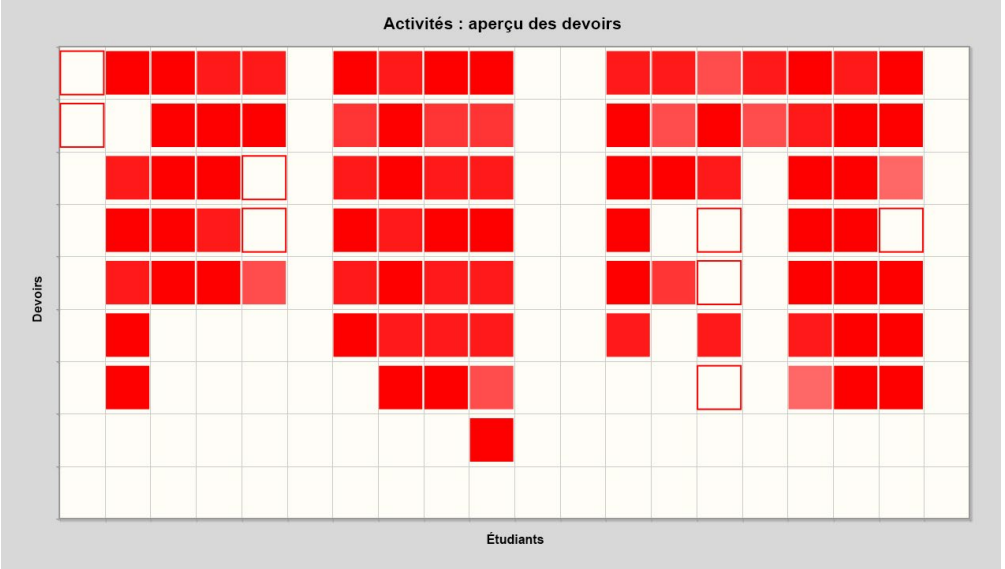

Figure 3. Graphique GISMO des résultats des devoirs des apprenants[35]

Moodle peut être utilisé pour faire le suivi d'un petit nombre d'apprenants ou de plusieurs milliers d'apprenants par cours. GISMO permet au formateur de visualiser des données de centaines d'apprenants aux fins de cerner des tendances. Cet outil permet également aux administrateurs, aux superviseurs et aux responsables des normes de cerner des tendances et des problèmes et d'évaluer la qualité de la formation.

Exemples de méthodes d'analyse avancée

Il existe un grand nombre d'algorithmes et d'outils d'exploration des données qui permettent aux utilisateurs d'extraire et de découvrir des renseignements et des connaissances de façon plus poussée que ne le permettent les capacités de Microsoft Excel et des outils moins avancés. L'avantage de ces outils est qu'ils permettent de dégager des connaissances dont l'accès est normalement impossible ou extrêmement difficile ou demande beaucoup de temps. De plus, ils peuvent le faire rapidement. L'inconvénient est que l'utilisation efficace de bon nombre de ces outils nécessite de la formation et des connaissances en matière d'exploration de données. Les méthodes présentées ci-après concernent la classification et les données qualitatives. Ces méthodes utilisent certaines des techniques d'analyse de l'apprentissage les plus avancées.

La classification est un modèle qui permet de classer des données en diverses catégories[36]. En tenant compte des antécédents personnels et financiers (données) d'un demandeur de prêt, une banque est en mesure de déterminer si le client appartient à la catégorie des demandeurs qui présentent peu de risque ou à la catégorie des demandeurs qui présentent des risques élevés. Dans le domaine de l'éducation, ce modèle permet de prédire si un apprenant réussira un cours ou s'il échouera en fonction des résultats obtenus aux premières évaluations. Il peut être utilisé avantageusement par un établissement d'enseignement afin de déterminer le plus tôt possible qui sont les apprenants qui auront besoin d'aide supplémentaire. Les trois méthodes de classification les plus courantes sont la classification bayésienne naïve, l'arbre décisionnel et les réseaux neuronaux.

Le succès de cette méthode repose sur l'utilisation de données historiques. Les modèles de classification utilisent des données historiques pour « évaluer » la probabilité qu'un apprenant appartienne à une catégorie particulière. Pour effectuer ce processus d'évaluation, ces méthodes ont besoin de deux ensembles de données. Le premier ensemble regroupe les données sur l'apprenant, soit ses notes, les rapports positifs ou négatifs et d'autres données qui peuvent être pertinentes pour évaluer son rendement. Le second ensemble est celui des diverses catégories de classification qui permettent de prédire les résultats finaux des apprenants.

L'efficacité de la classification bayésienne naïve est comparable à celle des arbres de décisions et des réseaux neuronaux. De plus, elle fournit rapidement une analyse très précise même lorsqu'elle porte sur de grandes bases de données[37]. L'exemple suivant présente un ensemble de données fictives pour montrer le fonctionnement de la classification. Le tableau 1 présente les données historiques de 10 apprenants. Il indique leurs résultats aux deux premiers examens et s'ils ont réussi ou échoué le cours. La méthode permet d'évaluer la probabilité qu'un apprenant ayant obtenu la note de 78 % au premier examen et de 83 % au second échoue ou réussisse le cours. Pour cet apprenant, la probabilité de réussir le cours est de 0,0555 et la probabilité d'échouer est de 0,0625[38]. Par conséquent, la probabilité que l'apprenant échoue est plus élevée. Le formateur dispose des connaissances nécessaires pour décider (sagesse) s'il faut intervenir et, le cas échéant, pour déterminer les mesures à prendre.

Apprenant	1er examen	2e examen	Catégorie
Apprenant A	91 à 100 %	81 à 90 %	Réussite
Apprenant B	81 à 90 %	81 à 90 %	Réussite
Apprenant C	81 à 90 %	91 à 100 %	Réussite
Apprenant D	71 à 80 %	81 à 90 %	Réussite
Apprenant E	81 à 90 %	71 à 80 %	Échec
Apprenant F	71 à 80 %	61 à 70 %	Échec
Apprenant G	91 à 100 %	61 à 70 %	Réussite
Apprenant H	61 à 70 %	81 à 90 %	Réussite
Apprenant I	61 à 70 %	81 à 90 %	Échec
Apprenant J	< ou = à 60 %	61 à 70 %	Échec

Tableau 1. Classification bayésienne naïve au moyen des notes historiques des apprenants

L'analytique de l'apprentissage s'applique aussi bien à l'évaluation du rendement des formateurs qu'à celle des apprenants. L'examen de l'évaluation des apprenants par un formateur peut aider les responsables des normes à déterminer si le formateur porte son évaluation sur des éléments pertinents pour évaluer le niveau de réalisation des objectifs des apprenants ou s'il se concentre sur des éléments non pertinents.

L'obtention de résultats de classification de qualités repose sur la discrétisation des données d'analyse. Discrétiser les données signifie placer des valeurs dans des groupes (par exemple, placer la note de 87 % dans la catégorie des notes comprises entre 81 % et 90 %). La discrétisation des données améliore les résultats de l'analyse en réduisant le nombre de résultats possibles.

La discrétisation peut s'appliquer aux catégories. Au lieu d'utiliser les catégories Échec et Réussite, la classification peut utiliser des catégories qui regroupent des fourchettes de notes. Il peut être difficile de déterminer la fidélité de la discrétisation, et l'exploration de données exige des connaissances et de l'expérience.

Il est toutefois évident que plus la quantité de données historiques disponibles est élevée, plus le modèle est efficace dans leur classification en catégories. Cette méthode peut présenter des difficultés si les cours évoluent ou changent. L'examen donné à un apprenant en 2018 peut être très différent de celui qui a été donné en 2008. Malgré tout, il a été démontré que les méthodes de classification avaient permis de dégager des connaissances applicables aux domaines commercial et de la recherche.

L'analyse des données qualitatives porte sur de l'information non numérique[39]. Cette méthode est couramment utilisée pour cerner des tendances qui émanent de documents-textes tels que des rapports, des comptes rendus de discussions de groupe et des évaluations préparées par les formateurs. Semantic Knowledge Tropes et Provalis Research QDA Miner sont deux exemples d'outils d'analyse de données qualitatives. Gephi est un puissant outil de visualisation qui permet aux utilisateurs d'examiner les relations qui existent entre des données qualitatives.

L'analytique de l'apprentissage s'applique aussi bien à l'évaluation du rendement des formateurs qu'à celle des apprenants. L'examen de l'évaluation des apprenants par un formateur peut aider les responsables des normes à déterminer si le formateur porte son évaluation sur des éléments pertinents pour évaluer le niveau de réalisation des objectifs des apprenants ou s'il se concentre sur des éléments non pertinents. Le 402e Escadron de la 17e Escadre de Winnipeg forme des officiers de systèmes de combat aérien (OSCA). Les formulaires d'évaluation utilisent un système de notation numérique pour chaque objectif de compétence. Ils contiennent également une section narrative où l'instructeur peut formuler des observations à l'appui de la note attribuée.

Une analyse des données qualitatives a été effectuée sur le contenu textuel de plusieurs dizaines de formulaires d'évaluation. Avant de procéder à l'analyse, on a retiré les renseignements personnels des stagiaires ayant fait l'objet des évaluations. On a utilisé Tropes pour analyser les relations entre les mots du contenu textuel, et Gephi pour produire une représentation graphique de l'analyse. Les résultats présentés à la figure 4 montrent que de nombreux termes présents dans les textes narratifs étaient fortement liés. La relation la plus importante est celle entre « vol » et « phases », ce qui montre que les évaluations ont souvent porté sur la façon dont les stagiaires ont traité les différentes phases de vol. La relation importante entre les mots « carburant » et « calcul » indique probablement l'importance pour les stagiaires de faire les bons calculs de consommation de carburant. À l'aide de cette vue graphique, les responsables des normes peuvent déterminer si un instructeur se concentre sur des points importants d'évaluation des compétences de vol des stagiaires.

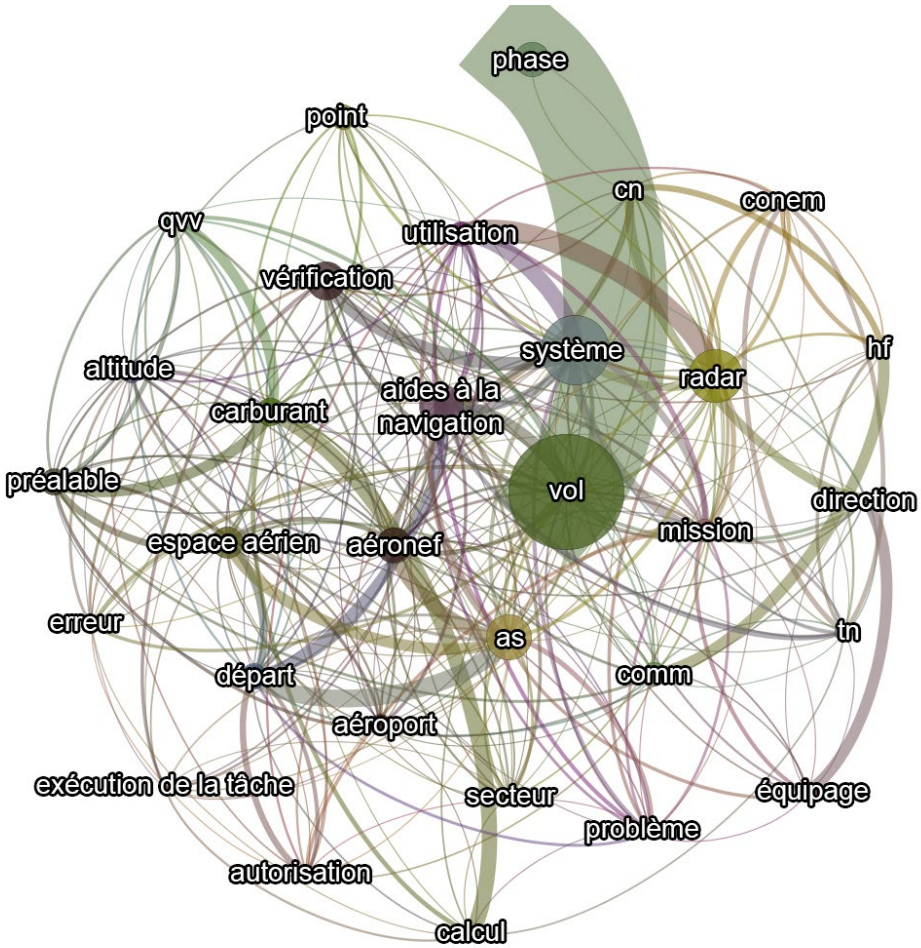

Figure 4. Analyse qualitative du contenu textuel des formulaires d'évaluation

Sommaire

L'analytique de l'apprentissage consiste à recueillir, à mesurer, à analyser et à communiquer des données sur des apprenants et sur les contextes d'apprentissage dans le but de comprendre et d'optimiser l'apprentissage et les environnements dans lesquels il se produit[40]. Elle vise à évaluer l'efficacité des cours dans le but d'améliorer l'apprentissage en optimisant le matériel didactique ainsi que la participation et la réussite des apprenants. L'analytique de l'apprentissage est une discipline liée à l'exploration des données et à la découverte de connaissances au moyen de l'analyse de données. L'exploration des données comporte sept étapes : le nettoyage des données, l'intégration des données, la sélection des données, la transformation des données, l'exploration des données, la mise au jour de tendances et la présentation des connaissances dégagées par l'analyse. L'objectif de l'exploration des données consiste à traiter des données brutes de façon à dégager des connaissances qui permettent d'éclairer la prise de décision.

La pyramide DICS (Données, Information, Connaissance, Sagesse) est le processus par lequel les données transformées peuvent servir à éclairer la prise de décision. Les données sont des faits. L'information est une donnée qui a un sens. La connaissance est le modèle, la relation ou

l'interaction que l'on trouve dans l'information. La sagesse consiste en l'utilisation des connaissances pour résoudre des problèmes, déterminer les améliorations et prendre des décisions. L'exploration de données permet d'automatiser les trois premières étapes. La dernière étape, la sagesse, est celle où le formateur fait usage des connaissances acquises.

L'analyse de l'apprentissage se pratique au moyen de systèmes de gestion de cours (SGC), aussi appelés systèmes de gestion de l'apprentissage (SGA). L'offre de SGC commerciaux ou gratuits est abondante. L'un des plus courants est Moodle, un SGC gratuit couramment utilisé par plus de 90 000 établissements d'enseignement. Moodle tient des registres détaillés de chaque clic qu'un apprenant fait sur les pages de navigation, des temps de réponse, des notes d'examen, des heures et des dates d'ouverture de session. Moodle consigne ces données dans des tableaux. GIZMO est un outil graphique et interactif qui permet aux utilisateurs de visualiser les données consignées dans les tableaux Moodle.

L'analyse des données qualitatives permet de déterminer la force des relations et de l'influence qui existent entre des mots et les concepts. Semantic Knowledge Tropes est un logiciel gratuit d'analyse qualitative de contenu textuel et sémantique qui permet d'analyser les mots et les phrases d'un document-texte volumineux. Gephi est une plateforme de visualisation puissante qui présente une représentation graphique des relations qualitatives qui existent entre les données d'un document-texte.

L'analytique affective permet de cerner les émotions et les sentiments sous-jacents à un document. Elle indique la présence d'émotions particulières (peur, bonheur, tristesse, joie) dans un texte et détermine la nature du sentiment qui s'en dégage (positif, négatif ou neutre). IBM Watson Natural Language Understanding permet de cerner des tonalités et des sentiments particuliers sous-jacents à un document-texte.

L'analyse des devoirs et du rendement des apprenants dans le cadre d'un cours permet au formateur de dégager une grande quantité de connaissances. Les méthodes avancées permettent de prédire le rendement d'un apprenant, ce qui permet au formateur d'intervenir rapidement dans le déroulement du cours. L'analyse ne se limite pas à un seul cours, elle permet également au formateur de cerner les tendances qui se dessinent au fil des années.

Conclusion

En tant que professionnels, les formateurs cherchent toujours des façons d'améliorer l'expérience d'apprentissage. Ce qui est bien n'est jamais assez bien. Alors que l'ARC explore de nouvelles façons d'offrir du matériel didactique par l'enseignement à distance et l'apprentissage informatisé, l'utilisation de nouveaux outils et de nouvelles méthodes s'avère nécessaire pour cerner des tendances et aider les formateurs à prendre les meilleures décisions possibles avec les ressources limitées dont ils disposent. L'analytique de l'apprentissage permet de faire entrer l'apprentissage dans le 21 siècle.

Le major (Maj) David Dunwoody est un OSCA de la 17e Escadre Winnipeg affecté au Collège de l'aérospatiale Lcol William G. Barker VC de l'ARC. Il est président du Département du développement des capacités aérospatiales et supervise le cours d'évaluation et d'essais opérationnels – Officier chargé de projet et le Programme des études aérospatiales. Il a volé à bord du CP140 (patrouille à longue portée) Aurora en tant qu'opérateur de détecteurs acoustiques et du Dash 8 CT142 en tant qu'OSCA instructeur. Le Maj Dunwoody

a servi en qualité d'opérateur de véhicule aérien pour le système d'aéronef télépiloté CU170 Heron dans le cadre de l'opération ATHENA. Il prépare actuellement une maîtrise en sciences des systèmes d'information à l'Université Athabasca.

ABRÉVIATIONS

AD	apprentissage à distance
ARC	Aviation royale canadienne
AS	connaissance de la situation
comm	Communication
CONEM	contrôle d'émission électromagnétique
DICS	Données, Information, Connaissances, Sagesse
FAC	Forces armées canadiennes
HF	haute fréquence
MDN	ministère de la Défense nationale
NAVAID	aide à la navigation
OSCA	officier de systèmes de combat aérien
RAD	Réseau d'apprentissage de la Défense
RVV	règles de vol à vue
SDPM	Sommaire des dossiers du personnel militaire
SGA	Systèmes de gestion de l'apprentissage
SGC	Systèmes de gestion de l'apprentissage
SIIEFC	Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes
TN	transports

NOTES

1. Canada, MDN, A-PD-050-001/FP-001, *Cours d'instructeur de vol – Manuel de l'instructeur de vol*, Module 1 (2001), p. 1.

2. Canada, MDN, *Protection, Sécurité, Engagement : la politique de défense du Canada*, Ottawa, Ministre de la Défense nationale, 2017, p. 21, consulté le 29 avril 2019, https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/organisation/politiques-normes/politique-defense-canada.html.

3. Canada, MDN, B-GA-400-000/FP-001, *Doctrine de l'Aviation royale canadienne*, 3e édition, Trenton, Ont., Centre de guerre aérospatiale de l'ARC, 2016, p. 40, consulté le 29 avril 2019, http://www.rcaf-arc.forces.gc.ca/fr/centre-guerre-aerospatiale-fc/doctrine-aerospatiale.page.

4. Canada, MDN, *Protection, Sécurité, Engagement*, p. 14.

5. Canada, MDN, « Réseau d'apprentissage de la Défense (RAD) », consulté le 29 avril 2019, https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/services/avantages-militaires/education-formation/perfectionnement-professionnel/reseau-apprentissage-defense.html.

6. Canada, MDN, A-P9-050-000/PT-001, *Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes – Manuel de l'instruction individuelle et de l'éducation — Volume 8*, p. 9

7. Canada, MDN, A-P9-050-000/PT-001, *Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes – Manuel de l'instruction individuelle et de l'éducation — Volume 11*, p. 3

8. Canada, MDN, A-P9-050-000/PT-001, *Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes – Manuel de l'instruction individuelle et de l'éducation — Volume 11*, p. 6.

9. Canada, MDN, A-P9-050-000/PT-001, *Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes – Manuel de l'instruction individuelle et de l'éducation — Volume 11*, p. 4.

10. Canada, MDN, A-P9-050-000/PT-001, *Système de l'instruction individuelle et de l'éducation des Forces canadiennes – Manuel de l'instruction individuelle et de l'éducation – Volume 8*, *Supplément 1.*

11. Université d'Athabasca, « 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge 2011 », consulté le 29 avril 2019, https://tekri.athabascau.ca/analytics.

12. Canada, MDN, *AKGA – Norme de qualification – Officier de systèmes de combat aérien*, (septembre 2016), p. 3-3.

13. Anna Wilson, et coll., « Learning Analytics: challenges and limitations », *Teaching in Higher Education*, vol. 22, nº 8 (2017), p. 991.

14. Jiawei Han, Micheline Kamber et Jian Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 3e edition, États-Unis, Morgan Kaufmann, 2012, p. 8.

15. Maxim Topaz, « The Hitchhiker's Guide to Nursing Informatics Theory: Using the Data-Knowledge-Information-Wisdom Framework to Guide Informatics Research », *Online Journal of Nursing Informatics,* vol. 17, nº 3 (2013).

16. Han, Kamber et Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, p. 6-8.

17. Cristóbal Romero, Sebastián Ventura et Enrique García, « Data Mining in Course Management Systems: Moodle Case Study and Tutorial », *Computers & Education*, vol. 51, (2008), p. 368.

18. Blackboard Inc., « Education Technology & Services », consulté le 29 avril 2019, http://www.blackboard.com/index.html.

19. Adobe, « Adobe Captivate Prime », consulté le 29 avril 2019, https://www.adobe.com/ca_fr/products/captivateprime.html.

20. TalentLMS, « The Fastest Path to Better Training », consulté le 29 avril 2019, https://www.talentlms.com/.

21. « Ilias E-Learning », consulté le 29 avril 2019, https://www.ilias.de/docu/goto_docu_root_1.html.

22. « Claroline Connect », consulté le 3 mai 2018, https://claroline.net/FR/logiciel.html.

23. Moodle, « Moodle – Open-source learning platform », consulté le 29 avril 2019, https://moodle.org/?lang=fr_ca.

24. « About Moodle », Moodle, consulté le 29 avril 2019, https://docs.moodle.org/34/en/About_Moodle.

25. « Moodle Statistics », Moodle, consulté le 29 avril 2019, https://moodle.net/stats/?lang=fr_ca.

26. Romero, Ventura et García, « Data Mining in Course », p. 372.

27. *Weka 3, Machine Learning Software in Java*, consulté le 29 avril 2019, https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/.

28. *Qualitative Data Analysis, Research Methodology*, consulté le 29 avril 2019, https://research-methodology.net/research-methods/data-analysis/qualitative-data-analysis.

29. Provalis Research, *Introducing QDA Miner*, consulté le 4 mai 2018, https://provalisresearch.com/products/qualitative-data-analysis-software/.

30. IBM, « Watson Natural Language Understanding », consulté le 29 avril 2019, https://www.ibm.com/watson/services/natural-language-understanding/.

31. Semantic Knowledge, *Tropes: High Performance Text Analysis for Professional Users*, consulté le 29 avril 2019, https://www.semantic-knowledge.com/tropes.htm.

32. Gephi, *The Open Source Graph Viz Platform*, consulté le 29 avril 2019, https://gephi.org/.

33. « GISMO: Graphical Interactive Student Monitoring Tool for Moodle », consulté le 29 avril 2019, http://gismo.sourceforge.net/index.html.

34. MOCLOG, *Students: Accesses by Students, Monitoring Online Courses with Logfiles*, consulté le 29 avril 2019, http://moclog.ch/de/files/2012/08/3a-t-students-accesses-by-students.jpg.

35. MOCLOG: *Monitoring Online Courses with Logfiles, Activities: Assignments Overview*, consulté le 29 avril 2019. http://moclog.ch/de/files/2012/08/10-t-activities-assignments.jpg.

36. Han, Kamber et Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, p. 18.

37. Han, Kamber et Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, p. 350.

38. La somme des deux probabilités ne correspond pas à 1,0 parce que l'évaluation ne tient compte que de deux catégories. Si on avait utilisé cette méthode pour déterminer la probabilité que l'apprenant soit classé dans une catégorie comprise dans un ensemble de plus de deux catégories, le total final aurait été de 1,0.

39. Research Methodology, Qualitative Data Analysis.

40. Athabasca University, *1st International Conference on Learning.*

LES DRONES ARMÉS

DANS LE PROCESSUS DE CIBLAGE :

UN MOYEN POUR LE CANADA DE S'ILLUSTRER SUR LA SCÈNE INTERNATIONALE

PAR LE MAJOR MARTIN VOYER, CD, M.E.D.

LES DRONES ARMÉS REPRÉSENTENT UN AVANTAGE SUR LES PLANS STRATÉGIQUE, OPÉRATIONNEL ET TACTIQUE POUR LE CANADA. IL SUFFIT MAINTENANT DE COMPRENDRE ET D'EXPLOITER LEUR POTENTIEL.

Note de la rédaction : La présente étude a été rédigée par un stagiaire du Collège des Forces canadiennes pour satisfaire à l'une des exigences du cours.

INTRODUCTION

Lorsque Carl Von Clausewitz a écrit son livre *De la guerre*, il était loin d'imaginer qu'avec l'invention de l'avion, le ciel et le terre deviendraient des espaces intimement liés pour la conduite de la guerre. Avec toutes les possibilités et les avantages que le vol peut comporter, celle-ci serait dorénavant façonnée par la troisième dimension. Clausewitz mentionne que le sentiment de puissance se compose de trois verbes : dominer, commander et surplomber. « C'est de cette source que découle le sentiment de supériorité et de sécurité de celui qui du haut d'une montagne aperçoit l'ennemi à ses pieds, et le sentiment de faiblesse et d'anxiété de celui qui se trouve en bas[1]. » Bien que Clausewitz fasse référence au relief du terrain dans son ouvrage, il est tout de même possible de tracer un parallèle avec l'utilisation des avions et des drones dans les conflits armés modernes. L'utilisation de ressources aériennes, et plus précisément des drones armés dans le cadre de ce travail, permet de dominer, de commander et de surplomber l'ennemi qui combat dans un environnement complexe. Le but de ce travail n'est pas de débattre si le Canada doit ou non se procurer des drones armés, mais plutôt de démontrer que l'utilisation des drones armés faciliterait le processus de ciblage et, par le fait même, permettrait au Canada de s'illustrer de façon plus indépendante sur la scène internationale.

Ce travail comportera trois parties. Dans la première partie, on traitera des drones armés et des raisons pour lesquelles il serait préférable d'employer ces drones plutôt que des avions de chasse. Cette partie mettra donc l'accent sur la capacité même des drones. Il est important de mentionner qu'il ne sera pas question d'argumenter en faveur d'une plateforme en particulier. Cependant, nous examinerons différents modèles utilisés par d'autres pays, notamment les États-Unis et l'Angleterre. Nous discuterons des différents avantages de leur emploi, comme la réduction des coûts, la distance d'opération qui sépare le pilote de la zone de conflit et l'augmentation de l'autonomie dans un théâtre non permissif.

La deuxième partie permettra d'examiner la capacité des drones armés dans le processus de ciblage et de voir comment ces drones facilitent et accélèrent le processus en soi. Pour ce faire, deux

Un MQ-9 Reaper circule au sol après une mission en Afghanistan.

Photo : United States Air Force

doctrines seront étudiées plus en profondeur : la doctrine de ciblage interarmées des États-Unis et la doctrine de ciblage interarmées du Canada. Le processus canadien tout comme celui de l'Organisation du Traité de l'Atlantique nord (OTAN) sont grandement influencés par celui des Américains, mais étant donné que le but du présent travail est de démontrer que le Canada pourrait intervenir de façon plus indépendante sur la scène internationale, il convient de se pencher sur notre propre doctrine. Le processus de ciblage se divise en deux types : le ciblage délibéré et le ciblage dynamique. L'utilisation des drones armés sera évaluée en fonction de ces deux types de ciblage, mais une attention plus particulière sera apportée au ciblage dynamique, dans lequel les facteurs temps et espace sont critiques.

Dans de la dernière partie du travail, il sera question du rôle du Canada sur la scène internationale. Il sera démontré que l'acquisition de drones armés et leur normalisation dans un processus de ciblage complet permettraient au Canada d'être plus indépendant en ce qui concerne sa participation dans les missions internationales et régionales. Les aspects de moralité, de légalité et de dissuasion seront abordés et expliqués selon les différents types de missions que le Canada est appelé à mener. Les drones armés représentent un avantage sur les plans stratégique, opérationnel et tactique pour le Canada. Il suffit maintenant de comprendre et d'exploiter leur potentiel.

LES DRONES ARMÉS : LA CAPACITÉ

Les théâtres d'opérations s'intensifient en matière de complexité et prennent de plus en plus d'envergure. Nous devons donc adapter les ressources utilisées, tout comme ceux qui les emploient doivent s'adapter. Les guerres irrégulières ayant lieu dans des pays instables représentent un théâtre propice à l'utilisation de drones armés. Les drones armés ne remplaceront jamais les avions de chasse. Il est cependant l'avis de l'auteur que ces drones sont un complément indispensable aux avions de chasse. « La victoire est impossible sans une surveillance persistante et des patrouilles de combat aériennes. […] Il est virtuellement impossible de s'engager dans des opérations non conventionnelles sans tenir le bâton de la dissuasion et sans contrôler l'espace aérien[2]. » Comme il a déjà été mentionné, les principaux avantages sont liés aux coûts, à la distance qui sépare le pilote du conflit, c'est-à-dire la distance de sécurité, et au gain d'autonomie dans des milieux hostiles.

Ce qui est très intéressant avec les drones armés, c'est que les frais d'acquisition, de maintenance et d'exploitation sont moins élevés que ceux d'une escadrille d'avions de chasse de nouvelle génération. Aux fins de comparaison, on utilisera les coûts des différents modèles de l'avion d'attaque interarmées F-35 ainsi que les coûts du MQ-1C Gray Eagle et du MQ-9 Reaper. En matière d'acquisition, les prix des différentes variantes du F-35 oscillent entre 102,1 et 132,2 M$ US par avion[3]. En ce qui concerne les deux différents modèles de drones armés, le Gray Eagle se vend 6,66 M$ US tandis que le Reaper se vend 14,75 M$ US[4]. Les montants des drones armés n'incluent pas le coût des stations de contrôle et de tous les autres équipements connexes. Ils représentent le

Un General Atomics MQ-1C Gray Eagle

Photo : General Atomics

coût des aéronefs seulement. En ce qui a trait aux coûts d'exploitation et de maintenance, le coût annuel pour exploiter et entretenir un Reaper était en 2008 de 5,43 M$ US et pour le MQ-1, 1,33 M$ US. Cela a permis au Département de la défense américaine (DoD) d'évaluer le coût moyen par heure de vol du MQ-9 Reaper à 3 538 $ US[5]. Pour le F-35, le coût estimé par heure de vol se situe à 32 000 $[6]. Peu importe les chiffres avancés ici, certains diront qu'il n'est pas juste de comparer deux types de plateformes, mais ce serait une erreur de penser ainsi. Effectivement, bien que l'on compare deux différentes plateformes, celles-ci sont appelées à exécuter les mêmes tâches. On pourrait se demander pourquoi nous devrions payer 32 000 $ par heure pour effectuer des missions de renseignement, surveillance et reconnaissance (RSR) avec un F-35 alors que le Reaper peut le faire pour un peu plus du dixième du coût. Pourquoi ne pas utiliser les drones armés alors que la supériorité aérienne n'est pas mise en doute?

La distance à laquelle le pilote effectue sa mission représente un autre avantage important qui est lié directement à la protection du capital humain. Avec les informations transmises en continu et en direct, les populations du monde entier sont témoins du conflit et le vivent de façon pratiquement réelle à travers les médias. Cette proximité virtuelle du théâtre d'opérations permet aux

L'EMPLOI DE DRONES ARMÉS POUR DES MISSIONS RSR ET D'APPUI AÉRIEN RAPPROCHÉ POURRAIT COÛTER UNE FRACTION DU PRIX ACTUEL.

populations de s'approprier la guerre à leur manière. Les populations demandent des comptes à leur gouvernement lorsqu'elles ne sont pas satisfaites de la façon dont les opérations se déroulent ou ont des inquiétudes liées à la protection des non-combattants. Cette exigence de transparence fait en sorte que les gouvernements sont de plus en plus réticents à prendre des risques, notamment quand ceux-ci aboutissent à des pertes humaines. L'utilisation de drones armés permet deux choses : d'une part, lorsque la protection aérienne offerte par les drones est constante, ils augmentent la sécurité des troupes au sol, et d'autre part, ils ne mettent pas la vie du pilote en danger.

Bien que les avions de chasse soient aussi parfaitement outillés pour offrir un appui aérien rapproché pour la protection des troupes au sol, il demeure que la situation et l'environnement dans lesquels le pilote mène sa mission peuvent être une source de stress intense. Même si la menace aérienne est minime lors de conflits irréguliers, tous les stimuli que le pilote reçoit peuvent être la source d'erreurs de sa part. Il suffit de se souvenir de l'incident du 17 avril 2002 en Afghanistan : un pilote de F-16 américain qui croyait être l'objet d'une attaque a frappé des troupes militaires canadiennes qui participaient à un exercice de tir de nuit tout près de Kandahar. Le major Schmidt, qui venait d'effectuer une mission de patrouille de nuit de 10 heures, a craint pour sa vie et celle de son partenaire de vol. « [L]e pilote d'un des F-16 a invoqué son droit de légitime défense, et il a largué une bombe GBU-12 à guidage laser de 500 livres sur la zone d'où provenaient les tirs[7]. » Le résultat de ce tir fratricide a été quatre morts et huit blessés.

Certaines personnes pourraient remarquer que les pilotes de drones armés souffrent très souvent de problèmes psychologiques liés aux engagements qu'ils effectuent. Comme les scientifiques l'ont déterminé, le problème n'est pas tant lié aux engagements qu'au fait qu'il existe un contraste colossal entre les différents rôles que les pilotes exercent durant une courte période. À un moment de la journée, ils ciblent des insurgés et à un autre, ils sont à la séance de soccer de leurs enfants ou font leur épicerie en compagnie de leur partenaire. Un moyen simple d'atténuer ce contraste serait de déployer ces pilotes dans un endroit différent de leur vie quotidienne pour que leur cerveau puisse associer les engagements à un endroit précis. Ces mesures permettraient du coup de favoriser la santé mentale des pilotes de drones.

Le dernier avantage qui sera traité dans cette partie du travail est celui de l'autonomie des drones armés. Les drones armés ont une autonomie qui surpasse de loin celle des avions de chasse, car les pilotes de chasse et les équipages des autres types d'aéronefs RSR ont des limites physiques. Même si des avions-citernes permettent aux avions de chasse de rester plus longtemps en station, il est impossible d'effectuer un changement de pilote comme c'est le cas avec les pilotes des drones armés, qui manœuvrent l'aéronef à partir du sol. Le pilote de chasse, étant un humain, est donc contraint par la fatigue. En revenant à l'exemple du tir fratricide de 2002 en Afghanistan, le pilote revenait d'une mission de nuit longue de 10 heures. Il se peut que la fatigue ait altéré son jugement. Dans le cas des drones armés, les pilotes effectuent aussi des vols de longue durée, mais ces derniers ne sont pas soumis aux différentes forces G ou aux conditions difficiles du théâtre d'opérations. Pour revenir à l'autonomie des drones armés, un MQ-9 Reaper a une endurance de 27 heures. Une nouvelle version « vie prolongée » du Reaper lui permet maintenant de fonctionner 42 heures avant qu'il ait à redescendre[8]. Ce temps de vol représente un avantage considérable pour une observation continue. Les temps de vol des différents drones armés varient beaucoup avec le nombre de munitions qu'ils transportent. Cet argument est aussi vrai pour les avions de chasse. Étant donné que les drones armés sont de plus petits gabarits, ils peuvent transporter moins d'armements. Le Predator peut transporter deux missiles de type Hellfire alors que le Reaper, plus gros, peut en transporter quatre en plus de deux bombes de 500 livres[9]. Même en comparant ces armements à ceux d'un avion de chasse standard, on constate tout de même qu'il s'agit d'un armement très appréciable

compte tenu de la grosseur des drones armés. L'autonomie prolongée en station permet de garder une meilleure connaissance de la situation. Cela sera discuté plus en détail dans l'utilisation des drones armés dans le processus de ciblage.

Dans cette partie, il a été démontré que le coût, la distance d'opération et l'autonomie sont les principaux avantages des drones armés. L'emploi de drones armés pour des missions RSR et d'appui aérien rapproché pourrait coûter une fraction du prix actuel. La distance entre le pilote et l'aéronef diminue les risques de pertes humaines et le risque d'erreurs lié à la défense légitime en cas de fatigue. L'autonomie des drones permettrait pratiquement une saturation de l'espace aérien et donc une protection permanente au-dessus des troupes terrestres. La prochaine partie traitera du processus de ciblage et de la façon dont l'intégration de cette nouvelle capacité pourrait améliorer la rapidité d'exécution du cycle de décision-action.

L'ÉVALUATION DES EFFETS ET DU COMBAT ET L'ÉVALUATION COLLATÉRALE SONT DES TÂCHES QUI PERMETTENT AUX DRONES DE VENIR EN AIDE AU COMMANDANT DANS SON EXAMEN DE LA SITUATION.

LE CIBLAGE : LE PROCESSUS

Le processus de ciblage est relativement jeune au Canada. La première édition de la Publication interarmées des Forces canadiennes (PIFC) sur le ciblage[10] date du 12 décembre 2014 et celle-ci a été grandement influencée par le manuel des États-Unis, daté du 13 avril 2007. Puisque la capacité des drones armés est déjà employée dans le cycle de ciblage américain, il serait intéressant d'envisager leur utilisation dans le processus de ciblage canadien afin de faciliter et d'accélérer son exécution. L'utilisation de drones armés n'influence pas la totalité du cycle de ciblage. En fait, cette capacité influence principalement le processus de ciblage dynamique, et ce, pour différentes raisons. On verra ici que les drones armés, par leur facilité à engager les cibles et leur autonomie prolongée, sont idéaux pour jouer un rôle majeur dans toutes les étapes du cycle de ciblage dynamique. Le fait que les drones armés soient polyvalents augmentera par le fait même la rapidité d'exécution du cycle de ciblage dynamique. On verra que les notions de temps et d'espace sont essentielles dans ce type de ciblage.

Que ce soit dans la publication canadienne ou américaine, le cycle de ciblage est composé de six étapes :

1. l'état final et les objectifs du commandant;
2. la définition et la mise en ordre de priorité des cibles;
3. l'analyse des capacités;
4. la décision du commandant et l'attribution des forces;
5. la planification et l'exécution de la mission;
6. l'évaluation[11].

De ces six étapes, trois pourraient être facilitées par l'utilisation des drones armés. Il s'agit de l'étape 2, la définition et la mise en ordre de priorités des cibles; de l'étape 5, la planification et l'exécution de la mission; et de l'étape 6, l'évaluation. On verra que le ciblage dynamique s'insère à l'étape 5 du processus de ciblage en général.

Comme les drones armés sont avant tout une plateforme de surveillance, d'acquisition d'objectifs et de reconnaissance, leur rôle dans la définition des cibles est important. « Ce soutien en renseignement est vital pour l'analyse effectuée lors de la définition des cibles, et aussi pour la préparation à d'éventuels processus de ciblage dans les opérations futures[12]. » Bien sûr, la définition des cibles ne se fait pas seulement par l'observation au moyen des capteurs d'un drone. Il faut plusieurs sources de renseignement qui corroborent l'information recueillie. Cependant, pour qu'une cible soit définie, elle doit d'abord être détectée, observée et évaluée. Les drones armés peuvent satisfaire à ces trois critères. D'autres capteurs peuvent aussi établir une cible, mais les drones sont pratiquement les seuls possédant la mobilité nécessaire à la poursuite d'une cible mobile sur une durée très prolongée. Par exemple, un membre des forces spéciales en mission de reconnaissance peut être en mesure d'observer des installations ennemies et de connaître les allées et venues des insurgés, mais dès que ceux-ci quittent le lieu de rassemblement, la filature devient extrêmement difficile et risquée. Cependant, la longue capacité de vol, l'altitude de croisière et la furtivité des drones permettent non seulement l'identification positive de l'objectif (IDP), mais aussi la détermination de l'activité civile et du profil d'activité. Ses deux notions sont cruciales pour la légalité de l'engagement de la cible.

Avant de discuter de l'étape 5 et du ciblage dynamique, il serait intéressant de discuter de l'apport des drones armés dans l'étape 6 du processus. Les drones sont également en mesure de procéder à une évaluation après l'engagement. En fait, l'évaluation des effets et du combat et l'évaluation collatérale sont des tâches qui permettent aux drones de venir en aide au commandant dans son examen de la situation. L'évaluation du combat est certainement la partie de l'évaluation de l'engagement où les drones armés sont très bien outillés pour faire le travail. Avec l'information obtenue par leurs capteurs optiques, électroniques et thermiques, nous sommes en mesure d'évaluer les dommages de combat (EDC), de préciser si la mission est un succès ou non, d'évaluer l'efficacité de l'armement employé et de recommander une attaque subséquente[13]. Une telle attaque peut être risquée pour un pilote de chasse, car il s'expose à l'ennemi qui a survécu à la première attaque. Toutefois, l'utilisation d'un drone armé n'entraine aucun risque pour le pilote. Même si le drone n'a plus de munitions, il peut tout de même rester en orbite et continuer l'observation et l'évaluation jusqu'à ce qu'un nouveau drone armé puisse prendre la relève.

Le ciblage dynamique, qui se situe à l'étape 5 du processus de ciblage interarmées, est sans doute le type de ciblage où les drones armés ont un réel avantage supérieur. Le ciblage dynamique « s'intéresse principalement aux objectifs inopinés, c'est-à-dire les objectifs identifiés trop tard ou qui n'ont pas été sélectionnés assez tôt pour être inclus dans le ciblage délibéré, ou les objectifs planifiés dont le statut a récemment changé et nécessite une attaque plus expéditive[14] ». Comme on peut le voir sur la figure suivante, il existe sept étapes dans le processus de ciblage dynamique.

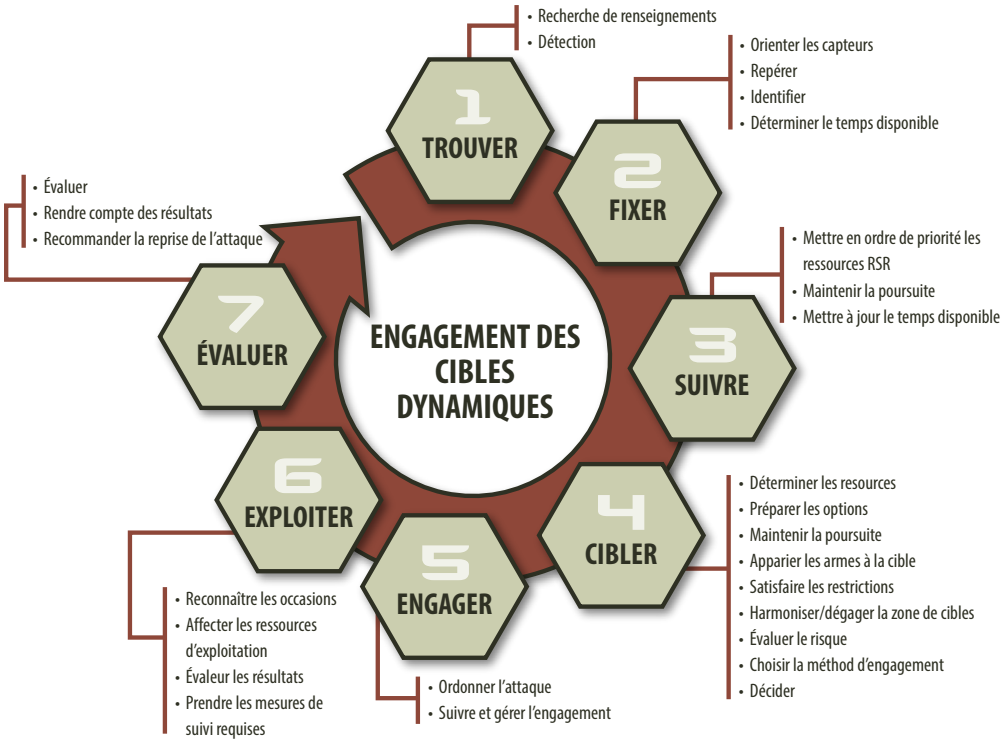

Figure 1. Étapes du processus de ciblage dynamique[15]

Lorsqu'il s'agit de cibles inopinées, le cycle de ciblage doit s'effectuer très vite. Autrement, on risque de perdre la possibilité d'engager la cible. Il est facile de constater que les drones armés peuvent effectuer toutes les étapes identifiées plus haut. Il est aussi vrai de dire que les avions de chasse peuvent aussi le faire, mais encore une fois, cela dépend de la situation. Le principal rôle de l'avion de chasse est de livrer une bombe sur une cible. Les avions sont donc principalement utilisés pour l'étape de l'engagement. Tout ce qui précède et qui suit l'engagement est normalement fait par les drones RSR. Il est nécessaire de se demander pourquoi nous avons besoin de deux ressources précieuses pour faire le cycle de ciblage dans son ensemble alors que les drones armés peuvent le faire à eux seuls, et ce, plus rapidement. Ce qui nous amène à la notion de « cible urgente ».

Les drones armés sont idéaux pour engager des cibles urgentes. La cible urgente est un « objectif […] qui doit être engagé immédiatement parce qu'il est très rentable, qu'il est un objectif inopiné fugace ou qu'il présente (ou présentera bientôt) un grand danger pour les forces amies[16] ». La doctrine américaine mentionne qu'une « cible urgente qui s'enfuit peut être difficile à détecter

ou à identifier, car l'ennemi utilise la mobilité ou des manœuvres d'interdiction et de tromperie. Il faut par le fait même l'engager rapidement avant que l'ennemi puisse employer la mobilité ou la tromperie et l'interdiction […][17] »

Il existe trois considérations qui concernent les cibles urgentes. La doctrine canadienne mentionne le renseignement, le temps, et les capacités et limites d'engagement. Il est nécessaire que la synchronisation entre le renseignement et les ressources RSR soit faite rapidement pour optimiser la collecte de renseignements et la définition de la cible. Puisque le temps est limité, il importe de bien évaluer la situation et de considérer le risque d'attaquer ou de ne rien faire. Plus la coordination entre les différents systèmes nécessaires à l'engagement de la cible est efficace, plus l'engagement se fera rapidement. En matière de capacités ou de limites d'engagement, un système d'observation qui peut également engager une cible urgente est un avantage. Par exemple, l'officier observateur avancé (OOA) d'artillerie qui observe une cible urgente pourra l'engager beaucoup plus rapidement avec une batterie d'artillerie provenant de son unité que si cette même cible était observée par un détachement de reconnaissance d'une autre organisation. Tout cela parce qu'il existe un lien organique entre l'OOA et sa batterie d'obusiers. On peut tracer le même parallèle avec les drones armés. Ils ont la possibilité d'observer et d'engager les cibles urgentes. C'est donc la polyvalence des drones armés qui leur procure un net avantage.

Pour conclure cette partie, il est important de revenir sur les quelques notions qui ont été abordées. Initialement, il a été question de décrire le processus de ciblage canadien. Ce dernier ressemble en de nombreux points au modèle américain. Il consiste en six étapes. Trois d'entre elles sont des étapes où les drones armés peuvent avoir une influence positive sur la rapidité d'exécution. L'étape 5, soit la planification et l'exécution de la mission, est l'étape dans laquelle le ciblage dynamique se

Le système aérien sans pilote (UAS) Sperwer en attente de son premier vol à Kabul, en Afghanistan.

Photo : Caporal Doug Farmer

situe et où prend toute l'importance des drones armés. Ce ciblage dynamique concerne principalement les cibles urgentes pour lesquelles nous devons considérer trois critères : le renseignement, le temps et les capacités et limites d'engagement. Les drones armés peuvent intervenir dans les trois cas afin de raccourcir le cycle de ciblage. Maintenant que nous avons déterminé que la capacité est utile au processus, il reste à discuter de la façon dont le processus et sa capacité peuvent modifier le système.

LES DRONES POURRAIENT FOURNIR UNE PROTECTION ACCRUE DES FORCES DÉPLOYÉES LORS DE MISSIONS D'IMPOSITION DE LA PAIX ET DE CONTRE-INSURRECTION (COIN) ET AGIR COMME PREMIER INTERVENANT LORSQUE LES TROUPES FONT FACE À UNE ATTAQUE.

LE CANADA SUR LA SCÈNE INTERNATIONALE : LE SYSTÈME

L'emplacement du Canada sur le globe lui confère un avantage stratégique indéniable. Bordé par trois océans et une superpuissance au sud, le Canada profite d'une protection contre la majorité des problèmes internationaux. Cela s'explique, d'une part, par l'isolement géographique et d'autre part, par le bouclier de protection offert par les États-Unis. Cette situation n'a jamais permis au Canada de jouer un rôle de premier plan sur la scène internationale. Lors de sa participation à des conflits armés, le Canada assume un rôle de soutien qui, la plupart du temps, est dicté par les impératifs américains. L'ajout de drones armés dans l'arsenal canadien pourrait permettre une plus grande flexibilité dans le rôle qui nous est confié et dans le choix des opérations possibles. Conséquemment, cela assurerait au Canada une plus grande indépendance vis-à-vis des États-Unis.

Ce sont « les attaques stratégiques basées sur la précision, la furtivité et les armes à distance qui offrent de nouvelles options extraordinaires aux dirigeants politiques américains[18] ». Si cela est possible pour les dirigeants politiques américains, pourquoi ne le serait-ce pas dans une plus petite mesure pour les dirigeants politiques canadiens? Il est inutile d'avoir un arsenal aussi important que celui des Américains; il suffit de créer une capacité sur mesure pour nos ambitions et nos intérêts nationaux. L'utilisation des drones armés au niveau international permettrait trois choses précises. Premièrement, puisque leur rôle principal est le RSR, les drones pourraient recueillir des renseignements nécessaires à la création d'une base de données de cibles qui intéressent strictement

le Canada. Cela nous donnerait aussi « l'habileté d'utiliser des munitions à guidage de précision pour détruire des cibles stratégiques plus facilement et plus rapidement[19] ». Toujours du point de vue stratégique, « les munitions à guidage de précision ont rendu possible la destruction de plus de cibles avec moins d'avions [et de drones armés] que dans le passé[20] ». Cela permet donc une économie substantielle. Deuxièmement, les drones pourraient fournir une protection accrue des forces déployées lors de missions d'imposition de la paix et de contre-insurrection (COIN) et agir comme premier intervenant lorsque les troupes font face à une attaque. Ne pas avoir besoin de demander des ressources d'une autre nation serait dans ce cas un immense avantage. Finalement, ils dissuaderaient l'ennemi irrégulier ou les milices locales de tenter quoi que ce soit pour perturber, blesser ou détruire la force en place. Dans les théâtres où des conflits asymétriques font rage, il est souvent préférable de prévenir les actions ennemies que de réagir à celles-ci. Tout succès stratégique repose sur l'économie d'effort pendant un conflit de longue durée. Le Canada s'apprête à déployer des troupes en Afrique. Ce théâtre d'opérations pourrait être un bon endroit pour instaurer l'utilisation de drones armés canadiens.

Sur la scène régionale, l'utilisation de drones armés augmenterait la crédibilité des engagements politiques du Canada envers l'OTAN et les États-Unis. Ces derniers critiquent actuellement le Canada pour ce qu'ils jugent être des efforts insatisfaisants en matière de provision de ressources matérielles et monétaires à l'OTAN. Le Canada, avec une flotte de drones armés, pourrait facilement compenser son manque d'avions de chasse dans des missions où se déroulent des conflits irréguliers. Non seulement l'effort de guerre du Canada serait augmenté au sein de l'alliance, mais la sécurité des soldats canadiens déployés ne serait pas compromise ni même remise en question par l'opinion publique. Les drones armés pourraient être un atout considérable sur la scène régionale, c'est-à-dire que nous pourrions les utiliser pour la protection de l'Amérique du Nord (NORAD). Bien que les drones armés ne puissent pas engager des cibles à voilures fixes ou tournantes, ils seraient une excellente addition aux forces aériennes canado-américaines déjà en place pour assurer la protection de l'espace aérien nord-américain. La mission du NORAD se décrit comme suit : « Le Commandement de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord est responsable de l'alerte aérospatiale, du contrôle aérospatial et de l'alerte maritime dans le cadre de la défense de l'Amérique du Nord[21]. » C'est exactement dans la dernière partie de la mission que les drones armés peuvent être très utiles. La très grande autonomie des drones armés leur permet de parcourir d'énormes distances sans ravitaillement. Avec leurs capteurs radars, optiques et thermiques, et leurs capacités de relayer l'information sur de longues distances, ils sont très bien outillés pour patrouiller les côtes et détecter les activités maritimes en périphérie du continent nord-américain. Avec leur armement, ils peuvent aussi engager les navires suspects qui n'obtempèrent pas avec les autorités ou tout simplement effectuer un vol en basse altitude en signe de dissuasion. Cela permettrait aux Forces armées canadiennes (FAC) d'affecter principalement ses avions de chasse aux opérations nécessitant la présence physique de pilotes, comme les opérations air-air. Les aéronefs armés sans pilote pourraient aussi servir à défendre notre souveraineté dans le Nord canadien. Avec l'ouverture du passage du Nord-Ouest, le Canada aura besoin de tous les moyens nécessaires afin de dissuader les navires de naviguer dans ses eaux territoriales. Les drones armés pourraient être la solution à ces problèmes, mais il faudra revoir les règlements limitant leur utilisation au-dessus du sol canadien.

L'utilisation de drones par les FAC pour surveiller la population du Canada est interdite sauf lorsque les FAC reçoivent le mandat de le faire. Il s'agit d'un domaine qui appartient à la Gendarmerie royale du Canada (GRC). La première fois que les FAC ont utilisé des drones pour une opération nationale fut en 2002 lors du sommet du G8 à Kananaskis en Alberta. Les FAC étaient employées en appui à la GRC. L'opération a été déclarée un succès et beaucoup de questions ont été soulevées concernant les aspects éthiques et légaux de la collecte d'informations sur

la population canadienne. « Il est vivement préoccupant que les applications des drones puissent collecter des informations personnelles, intentionnellement ou par inadvertance[22]. » Sur la scène internationale, les aspects éthiques et légaux de l'emploi des drones armés sont régis par le processus de ciblage. Avant chaque engagement d'un drone armé, la cible doit faire l'objet d'un processus de ciblage délibéré ou dynamique par lequel l'autorité d'engagement des cibles valide la légalité et la légitimité de l'engagement. Il revient maintenant au gouvernement canadien d'amender les lois et les règlements pour faciliter l'utilisation de drones militaires dans l'espace aérien canadien. Il faut que les perceptions à l'égard des drones changent. Sur le plan de la patrouille, il n'y a pas de différence entre un avion de chasse et un drone qui survolent le Canada. Les deux possèdent pratiquement les mêmes capteurs.

Un MQ-9 Reaper armé.

Photo : General Atomics

CONCLUSION

Le but du travail était de démontrer que l'ajout de drones armés dans l'arsenal canadien faciliterait et accélèrerait le processus de ciblage et permettrait ainsi au Canada de s'illustrer de façon indépendante sur la scène internationale. L'approche employée nous a permis de discuter des avantages de la nouvelle capacité des drones armés par rapport à la capacité déjà existante des avions de chasse. Après avoir démontré que les drones représentaient un net avantage, il s'est avéré nécessaire d'expliquer la façon dont le processus de ciblage pouvait être facilité et accéléré par cette nouvelle capacité. Ce n'est qu'après avoir décrit comment ce processus pouvait être amélioré que nous avons pu suggérer les façons dont le Canada en sortirait gagnant sur la scène internationale. Pour résumer, il suffisait de démontrer que l'amélioration d'un processus, par l'ajout d'une nouvelle capacité, enclenche l'amélioration d'un système. Afin d'affirmer que cela est le cas, on doit passer en revue les différentes parties du présent travail.

Dans la première partie, la comparaison entre les avions de chasse et les drones armés a permis de démontrer que les drones armés étaient la ressource la plus efficiente dans un environnement où les forces amies détiennent la supériorité voire la suprématie aérienne. Les drones sont plus efficients pour trois raisons principales. Premièrement, ils coûtent seulement un peu plus du dixième du prix pour effectuer le même travail que les avions de chasse, c'est-à-dire le RSR et l'appui aérien rapproché. Deuxièmement, les drones protègent les pilotes qui opèrent à distance. Le fait qu'aucune vie ne soit menacée lors de la mission permet une diminution des erreurs de jugement causées par les conditions difficiles et dangereuses. Finalement, la grande autonomie des drones armés leur permet de rester en orbite au-dessus de la zone d'opération de sorte qu'avec très peu de ressources similaires, il est possible d'assurer une couverture constante de la zone d'opération. Certes, cette couverture constante peut être accomplie avec les avions de chasse, mais cela exige énormément de ressources et d'argent.

Dans la deuxième partie, il était question de démontrer les avantages des drones armés dans le processus de ciblage. C'est pendant les étapes de définition et de mise en priorité des cibles, de planification et d'exécution de la mission, et de l'évaluation que les drones armés se démarquent des autres capacités. Comme il a déjà été mentionné, pour qu'une cible soit définie, il faut qu'elle soit détectée, observée et évaluée. D'autres capteurs peuvent aussi préciser une cible, mais les drones sont pratiquement les seuls possédant la mobilité nécessaire à la poursuite d'une cible mobile sur une très longue durée. On a vu aussi que, pendant l'évaluation, les drones armés peuvent rester sur place pour effectuer l'exploitation de renseignements, réengager les cibles ou effectuer l'EDC. Les aéronefs peuvent aussi effectuer ces tâches, mais cela les expose à des dangers supplémentaires. Cette partie traitait aussi du ciblage dynamique à l'étape 5 du processus de ciblage. Les drones armés ont encore une fois démontré leur efficacité dans la rapidité d'exécution de la mission lorsque la cible est urgente. Les facteurs temps et espace sont cruciaux pour réussir à engager une cible d'importance en mouvement et l'autonomie et le grand rayon d'action des drones armés en font d'excellents chasseurs.

Finalement, on devait arriver à la conclusion que l'intégration des drones dans un processus de ciblage rigoureux permettait de modifier un système en place, c'est-à-dire de permettre au Canada d'être plus indépendant sur la scène internationale.

L'utilisation des drones armés à l'échelle internationale permettrait de remplir trois rôles précis : les drones pourraient recueillir des renseignements d'intérêt strictement canadien; ils pourraient assurer la protection des troupes au sol; et ils constitueraient un excellent moyen de dissuasion contre les insurgés. Sur la scène régionale, c'est-à-dire nord-américaine, les drones permettraient au Canada de s'illustrer dans ses contributions envers l'OTAN et le NORAD. De plus, avec l'ouverture du passage du Nord-Ouest, il sera nécessaire d'assurer une présence permanente et dissuasive. Les drones armés peuvent satisfaire à ces deux critères.

S'étant doté d'une politique de ciblage rigoureuse, le Canada pourrait maintenant aspirer à prendre l'initiative dans plusieurs régions du monde et ne pas attendre de se faire forcer la main lorsqu'il est temps d'appuyer son voisin du Sud. Le processus de ciblage accorde au commandant une liberté d'action sur le terrain tout en assurant la légalité et la moralité des engagements. Les FAC sont des forces armées matures qui sont prêtes à acquérir ce type de drones. Quoi qu'il en soit, les drones armés dérangent la population canadienne. Un programme d'acquisition devra faire l'objet d'une campagne de communications stratégique très efficace afin que les perceptions négatives ne nuisent pas à la modernisation des FAC.

Le major Martin Voyer détient une maîtrise en études de la défense du Collège des Forces canadiennes à Toronto et termine présentement une maîtrise en administration publique à l'École nationale d'administration publique du Québec. Parmi les postes occupés dans sa carrière, notons les postes clés d'officier des opérations au centre de coordination des feux d'appui au quartier général (QG) du 5e Groupe-brigade mécanisé du Canada (5 GBMC) à Valcartier, de commandant de batterie de surveillance et d'acquisition d'objectifs au 5e Régiment d'artillerie légère du Canada et le poste de responsable des ressources de renseignement, acquisition d'objectifs et de reconnaissance au sein du 5 GBMC. Il occupe en ce moment la position de G3 5 GBMC. Il a participé à trois déploiements opérationnels, dont deux pour l'opération (Op) ATHENA en 2004 et 2007 et plus récemment pour l'Op IMPACT en 2015 à titre d'officier responsable des feux d'appui et du ciblage au sein du QG de la Force opérationnelle interarmées multinationale – Iraq, où il a supervisé plus de 900 frappes aériennes.

ABRÉVIATIONS

5 GBMC	5e Groupe-brigade mécanisé du Canada
DoD	Département de la défense américaine
EDC	évaluation des dommages de combat
FAC	Forces armées canadiennes
GRC	Gendarmerie royale du Canada
IDP	identification positive
OOA	officier observateur avancé
RSR	renseignement, surveillance et reconnaissance

NOTES

1. Carl Von Clausewitz, *De la guerre,* Paris, Les Éditions de Minuit, 1955, p. 392.

2. Robert Wilkie, « Hybrid Warfare: Something Old, Not Something New », *Air and Space Power Journal,* vol. 23, nº 4 (hiver 2009), p. 16, consulté le 28 mars 2018, http://www.airuniversity.af.mil/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-23_Issue-1-4/2009_Vol23_No4.pdf.

3. F-35 Lightning II, Lockheed Martin, « How much does the F-35 cost? Producing, Operating and Supporting a 5th Generation Fighter », consulté le 28 mars 2018, https://www.f35.com/about/cost.

4. Forecast International's Aerospace Portal, « About the Predator and Reaper », consulté le 28 mars 2018, http://www.fi-aeroweb.com/Defense/MQ-1-Predator-MQ-9-Reaper.html.

5. Department of Defence (DoD), Selected Acquisition Report, *MQ-9 Reaper Unmanned Aircraft System (MQ-9 Reaper),* Washington, DoD, 2016, p. 45.

6. Skies Magazine, « Selling Canada's next generation fighter », 6 septembre 2016, consulté le 28 mars 2018, https://www.skiesmag.com/news/selling-canadas-next-generation-fighter/.

7. Ministère de la Défense nationale, *Commission d'enquête sur Tarnak Farm – Rapport final,* Ottawa, MDN, 2002, p. ii, consulté le 28 mars 2018, http://publications.gc.ca/collections/Collection/D2-138-2002F.pdf

8. Forecast International's Aerospace Portal, « About the Predator and Reaper », 27 juin 2016, consulté le 28 mars 2018, http://www.fi-aeroweb.com/Defense/MQ-1-Predator-MQ-9-Reaper.html.

9. Forecast International's Aerospace Portal, « About the Predator and Reaper ».

10. Canada, MDN, B-GJ-005-309/FP-002, Publication interarmées des Forces canadiennes (PIFC) 3-9, *Ciblage,* Ottawa, État-major interarmées stratégique, 2014.

11. Canada, MDN, PIFC 3-9, *Ciblage,* p. 4-3; DoD, JP 3-60, *Joint Targeting*, Washington (DC), Joint Chiefs of Staff, 2007, p. ii-3.

12. DoD, JP 3-60, *Joint Targeting*, p. ii-5.

13. Canada, MDN, PIFC 3-9, *Ciblage*, p. 4-16.

14. Canada, MDN, PIFC 3-9, *Ciblage*, p. 4-17.

15. Canada, MDN, PIFC 3-9*, Ciblage,* p. 4-19.

16. Canada, MDN, PIFC 3-9*, Ciblage* p. 4-23.

17. DoD, JP 3-60, *Joint Targeting,* p. A-1.

18. John A. Warden, III, « Success in Modern War: A Response to Robert Pape's Bombing to Win », *Security Studies*, vol 7, nº 2 (Hiver 1997-1998), p. 190.

19. Robert A. Pape, « The Limits of Precision-Guided Air Power », *Security Studies*, vol. 7, nº 2 (Hiver 1997-1998), p. 102.

20. Pape, « The Limits of Precision-Guided Air Power », p. 102.

21. North American Aerospace Defense Command, « About NORAD », consulté le 28 mars 2018, http://www.norad.mil/About-NORAD.

22. C. Bracken-Roche et coll., *Surveillance Drones : Privacy Implications of the Spread of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Canada,* Ontario, Surveillance Studies Centre, Queen's University, 2014, p. 6.

EXPERIMENTAL

Un MQ-1C Gray Eagle.
Photo : U.S. Army

SUJETS D'INTÉRÊT

APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE :

AUTOMATISER LES PROCESSUS ORGANISATIONNELS AFIN D'OPTIMISER L'UTILISATION DES RESSOURCES HUMAINES

Par le capitaine C. D. McGregor

L'automatisation est un concept que le personnel de l'Aviation royale canadienne (ARC) connaît très bien. Bien qu'il fasse fondamentalement partie de chaque poste de pilotage, l'automatisation est le concept selon lequel un élément de technologie peut exécuter une tâche humaine avec peu d'intervention ou sans intervention aucune. L'apprentissage automatique est la prochaine étape dans l'évolution de la technologie d'automatisation et elle offre à l'ARC les moyens d'automatiser plusieurs fonctions organisationnelles, optimisant ainsi le rendement de son personnel. En distinguant les secteurs de l'organisation qui contiennent déjà les caractéristiques nécessaires à un système d'apprentissage automatique, les avantages de ce dernier peuvent être obtenus, dans certains cas, avec un minimum d'efforts.

L'augmentation de la productivité par l'automatisation est une façon viable et logique d'accroître les capacités de l'ARC.

L'automatisation n'est pas un nouveau concept, mais il est souvent teinté de scepticisme, du moins au début. Dans l'industrie automobile, les processus de production automatisée sont souvent associés à la préoccupation de subir une diminution de la main-d'œuvre. À long terme, cependant, nous savons maintenant que ce n'est généralement pas le cas[1]. On constate plutôt un rééquilibrage de la main-d'œuvre, avec moins de postes non qualifiés, mais plus de possibilités pour les travailleurs hautement qualifiés, ce qui permet de maintenir plus ou moins la taille de l'effectif, mais avec des taux de production plus élevés[2]. Dans le cas de l'ARC, il s'agit d'une tendance intéressante; la plus grande partie de sa main-d'œuvre comprend déjà un personnel hautement qualifié qui, dans une certaine mesure, est débordé par des tâches qui pourraient être exécutées de façon autonome par des systèmes d'apprentissage automatique. Cela permettrait à davantage de ressources humaines de se concentrer sur des enjeux de niveau plus élevé, en exploitant l'instruction et l'expérience acquises par l'intermédiaire de l'ARC et en améliorant la productivité globale, sans augmenter les niveaux de dotation.

L'augmentation de la productivité par l'automatisation est une façon viable et logique d'accroître les capacités de l'ARC. Même si la politique de défense la plus récente du Canada, *Protection, Sécurité, Engagement* (*PSE*) demande une augmentation importante des budgets de la Défense[3], l'ARC manque déjà de personnel, et l'accélération des taux d'attrition peut nuire à sa capacité d'augmenter les niveaux de dotation de façon mesurable, malgré les fonds supplémentaires[4]. Par conséquent, la mise en œuvre d'une technologie qui peut rendre les ressources humaines plus disponibles permet à l'organisation d'élargir sa fonctionnalité en atténuant les contraintes de personnel par l'optimisation de l'effectif.

Envisagez l'apprentissage automatique comme outil qui permet à un système informatique de répondre de façon autonome à de nouvelles situations sans avoir été précisément programmé pour le faire.

Les avantages de l'automatisation ont déjà été obtenus par l'ARC. La capacité croissante des technologies pour exécuter les tâches traditionnellement réservées aux opérateurs à bord des aéronefs a entraîné, dans de nombreux cas, la réduction de la composition de l'équipage. Cela permet à l'ARC de faire fonctionner le même nombre d'aéronefs avec un équipage réduit, et de

former du personnel qui peut être utilisé de manière plus rentable. Ce concept est donc bien connu de l'ARC, et même s'il existe depuis les années 1960, l'apprentissage automatique a connu une popularité croissante au cours des dernières années en raison de la disponibilité de la puissance informatique et de l'augmentation du contenu des bases de données numériques[5], qui ensemble activent de nouvelles capacités.

Envisagez l'apprentissage automatique comme outil qui permet à un système informatique de répondre de façon autonome à de nouvelles situations sans avoir été précisément programmé pour le faire. Prenez, par exemple, les renseignements sur les demandes d'hypothèques qui font l'objet d'un suivi et d'une compilation dans une base de données. Si un système d'apprentissage automatique est exposé à cette base de données au moyen d'algorithmes d'apprentissage, le système sera en mesure d'extrapoler des leçons à partir de l'ensemble de données. Une fois que ces données, appelées données d'instruction, sont comprises par le système, elles peuvent évaluer de nouveaux renseignements en fonction des extrapolations du système[6]. Dans cet exemple, le système pourrait prédire si un candidat est susceptible de ne pas payer son hypothèque en comparant les paramètres des nouvelles applications à l'ensemble des paramètres entourant l'historique des défauts de paiement hypothécaire. De plus, le système serait en mesure de traiter ces applications de façon autonome. Ce type de système d'apprentissage automatique est appelé système supervisé, car les données d'instruction contiennent des solutions; le résultat de l'historique des demandes d'hypothèques serait connu et intégré dans l'ensemble des données. Il est intéressant de noter que l'apprentissage automatique peut également être appliqué à des ensembles de données qui ne contiennent pas de solution, ce que l'on appelle l'apprentissage non supervisé. L'analyse des données statistiques est un bon exemple d'apprentissage automatique non supervisé qui peut être utilisé pour extrapoler les corrélations dissimulées dans les ensembles de données[7].

L'apprentissage automatique est un outil puissant qui peut être appliqué à de nombreuses fonctions de l'ARC, et l'analyse d'images en est un bon exemple.

L'apprentissage automatique est un outil puissant qui peut être appliqué à de nombreuses fonctions de l'ARC, et l'analyse d'images en est un bon exemple. Un système d'apprentissage automatique peut analyser le contenu des images numériques et les catégoriser en conséquence : des images de singes, des images contenant au moins trois voitures ou des images contenant des systèmes d'armes, par exemple[8]. Ces types de systèmes sont de plus en plus puissants en raison de l'accroissement des bases de données d'images provenant de sources ouvertes qui peuvent être utilisées pour former ces systèmes, et aux délais de traitement réduits obtenus grâce aux processeurs puissants disponibles. Cette technologie appliquée au domaine du renseignement, de la surveillance et de la reconnaissance (RSR) signifierait que les images pertinentes peuvent être séparées des images non pertinentes avant d'être présentées au personnel du renseignement aux fins d'examen, ce qui réduirait le temps nécessaire à l'analyse et, par le fait même, les ressources en personnel nécessaires à cette fin. Les images provenant de satellites ou de systèmes d'aéronef télépilotés pourraient être

comparées à une base de données de systèmes de missiles sol-air connus afin d'évaluer et de représenter de façon autonome les zones de menace sur une image commune de la situation opérationnelle, sans intervention humaine[9]. Pour le commandant, cela signifie qu'il a accès à l'information pertinente, même à 3 h du matin, lorsque les membres du personnel dorment.

L'analyse d'images serait relativement facile à exploiter en tant que capacité, grâce à l'existence préalable de bases de données d'images et à la prévalence de la recherche en reconnaissance d'images dans le secteur de l'automobile. Des algorithmes d'apprentissage automatique sont actuellement utilisés avec des caméras et des capteurs à bord des voitures afin de concevoir des véhicules autonomes[10]. Ces systèmes permettent d'identifier les panneaux routiers et de comparer ceux-ci à une base de données de panneaux; on déduit ainsi la signification exacte de chaque panneau en fonction de sa signification codée dans la base de données du panneau auquel il ressemble le plus. Pour l'ARC, cela signifie que s'il existe déjà un vaste cadre de recherches dans le domaine de l'analyse d'images, ce cadre peut être adapté de façon à atteindre les objectifs de l'ARC avec un minimum d'efforts.

Le secteur privé mène des recherches de grande envergure sur les applications modernes de l'apprentissage automatique. Un autre domaine pertinent pour l'ARC est la cybersécurité[11]. La recherche entourant l'optimisation et l'application de l'apprentissage automatique en tant qu'outil de détection d'intrusion dans l'environnement cybernétique est importante, et les meilleures méthodes pour utiliser l'apprentissage automatique dans ce contexte sont en cours d'élaboration[12]. L'ARC possède et exploite un grand nombre de réseaux et de ressources qui bénéficieraient directement de l'application de cette recherche, et une fois établi, le processus pourrait être en grande partie automatisé afin de soulager la pression du personnel dans les services de cybertechnologie et des technologies de l'information.

L'apprentissage automatique est la prochaine étape dans l'évolution de la technologie d'automatisation et peut offrir à l'ARC les moyens d'automatiser les fonctions organisationnelles et d'augmenter la productivité sans augmenter les niveaux de dotation en personnel.

Dans le cas de l'ARC, l'apprentissage automatique pourrait en fait être mis en œuvre dans tout système pour lequel une base de données importante et représentative existe déjà. Les bases de données d'images numériques en sont un exemple évident, mais il y en a beaucoup d'autres : les plans d'affectation annuels, les données de gestion de carrière du personnel, les dossiers d'entretien des aéronefs et l'historique de planification des ressources pourraient tous être utilisés comme ensembles de données d'instruction pour les systèmes d'apprentissage automatique. Une fois les corrélations pertinentes extraites des données par le système, celui-ci serait, par exemple, capable d'optimiser les plans d'affectation en fonction de

priorités identifiables. Cela pourrait prendre la forme d'un plan d'affectation optimisé en matière de coûts, ou qui restreint les déplacements géographiques des membres du personnel ayant déménagé plus de six fois, ou dont les enfants ont moins de cinq ans – les possibilités sont infinies. Un système d'apprentissage automatique serait en mesure d'évaluer et de résoudre ces problèmes complexes de façon autonome.

Bien entendu, chaque système présente des vulnérabilités, et les systèmes d'apprentissage automatique dépendent beaucoup de la qualité et de la taille des ensembles de données qu'ils exploitent. Les grands ensembles de données sont plus avantageux que les petits, et plus il y a de données représentatives et pertinentes, plus le système se comportera de la manière souhaitée[13]. Toutefois, les occasions d'exploitation existent bel et bien pour l'adversaire, et elles consistent généralement à exploiter les anomalies dans les données d'instruction du système[14]. Ces anomalies sont déterminées par des « perturbations[15] » itératives et peuvent être exploitées de façon à provoquer une classification erronée des nouveaux renseignements par le système[16]. Dans l'exemple d'une voiture autonome, cela pourrait entraîner la classification erronée d'un panneau d'arrêt interprété comme un signal Cédez; dans un scénario de défense, ce pourrait être la classification erronée d'un site de missiles surface-air interprété comme un site industriel. Toutefois, les systèmes d'apprentissage automatique peuvent être conçus de manière à être résilients face aux manipulations ennemies en modélisant chaque système de façon à ce que l'adversaire ait à produire un grand nombre de perturbations pour découvrir les vulnérabilités de ce dernier[17]. Plus il y a de perturbations requises, plus il est probable qu'elles soient découvertes par les protocoles de surveillance, et plus le système devient résilient[18]. Malheureusement, la résilience est inversement proportionnelle aux taux d'apprentissage et à la précision de cet apprentissage, et un équilibre entre la sécurité d'un système et son rendement devrait être adapté à la tâche, selon les circonstances.

Il existe de nombreux domaines au sein de l'ARC où l'application de systèmes d'apprentissage automatique pourrait être avantageuse pour l'organisation. L'automatisation a déjà mené à une amélioration des capacités de l'ARC et l'apprentissage automatique peut contribuer de façon mesurable à cet objectif. L'apprentissage automatique est la prochaine étape dans l'évolution de la technologie d'automatisation et peut offrir à l'ARC les moyens d'automatiser les fonctions organisationnelles et d'augmenter la productivité sans augmenter les niveaux de dotation en personnel. Bien que l'on puisse concevoir de nombreuses applications de cette technologie, en distinguant les secteurs de l'ARC qui contiennent déjà les caractéristiques nécessaires à un système d'apprentissage automatique, on peut obtenir de nombreux avantages avec un minimum d'efforts.

Le capitaine Cole McGregor s'est joint aux Forces armées canadiennes en 2012 dans le cadre du programme d'enrôlement direct après avoir obtenu un baccalauréat de l'Université Queen's. Après avoir suivi la formation de pilote à Moose Jaw (Saskatchewan) et à Portage la Prairie (Manitoba), il a été affecté au 429e Escadron de transport de Trenton (Ontario) où il sert actuellement en tant que commandant d'aéronef pour le CC177 Globemaster III. Le Capt McGregor a reçu le Prix d'excellence en pilotage de la ville de Portage la Prairie et a été nommé diplômé distingué pour le cours de qualification initiale de pilote sur le C17, ainsi que pour le Cours sur la puissance aérienne et spatiale dans les opérations. Il termine actuellement une maîtrise en administration des affaires au Collège militaire royal de Kingston (Ontario). Le Capt McGregor a effectué des vols à l'appui de l'Opération (Op) BOXTOP, de l'Op REASSURANCE, de l'Op UNIFIER, de l'Op NABERIUS, de l'Op PRESENCE, de l'Op ARTEMIS, de l'Op NUNALIVUT, de l'Op FOUNDATION, de l'Exercice (Ex) MAPLE FLAG, de l'Ex MAPLE RESOLVE et de l'Ex RIMPAC, et a reçu la Médaille du service général – expédition pour son service à l'appui de l'Op IMPACT.

NOTES

1. Georg Graetz et Guy Michaels, « Robots at Work », document de discussion CEP nº *1335,* Londres, Centre for Economic Performance, The London School of Economics and Political Science, mars 2015, p. 21, consulté le 8 mai 2019, http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1335.pdf.

2. Graetz et Michaels, « Robots at Work », p. 21.

3. Canada, Ministère de la Défense nationale, *Protection, Sécurité, Engagement : La politique de défense du Canada,* Ottawa, Ministère de la Défense nationale, 2017, p. 43-46, consulté le 8 mai 2019, http://w08-ttn-vmweb01/rawc/fr/bibliotheque-electronique/la-revue/2017-vol6/no3-ete/contents/11-liberations-au-sein-de-la-mobilite.pdf.

4. Kevin Kozak, « Libérations au sein de la mobilité : le canari dans une mine de charbon de l'ARC », *Revue de l'Aviation royale canadienne*, vol. 6, nº 3 (été 2017), p. 99 à 102, consulté le 8 mai 2019, http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/mdn-dnd/D12-16-6-3-fra.pdf.

5. Erik Cambria et Guang-bin Huang, « Extreme Learning machines », *IEEE Intelligent Systems*, novembre/décembre 2013, p. 30, consulté le 8 mai 2019, https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6733226; et Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever et Geoffrey E. Hinton, « ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks », *Communications of the ACM* 60, nº 6 (2017), p. 84, consulté le 8 mai 2019, https://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf.

6. Krizhevsky, Sutskever et Hinton, « ImageNet Classification », p. 84 à 86.

7. Yoshua Bengio, Aaron Courville et Pascal Vincent, « Representation Learning: A Review and New Perspectives », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 35, nº 8 (août 2013), p. 1802 à 1805, consulté le 8 mai 2019, https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6472238.

8. Nassim Ammour et coll., « Deep Learning Approach for Car Detection in UAV Imagery », *Remote Sensing,* vol. 9, nº 4 (mars 2017), p. 325, consulté le 8 mai 2019, http://www.mdpi.com/2072-4292/9/4/312.

9. Ammour et coll., « Deep Learning », p. 321 à 323.

10. Patrick McDaniel, Nicolas Papernot et Z. Berkay Celik, « Machine Learning in Adversarial Settings », *IEEE Security & Privacy,* vol. 14, nº 3 (mai-juin 2016), p. 69, consulté le 8 mai 2019, https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7478523.

11. Anna L. Buczak et Erhan Guven, « A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection », *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* vol. 18, nº 2 (2016), p. 1172 à 1174, consulté le 8 mai 2019, https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7307098.

12. Buczak et Guven, « A Survey of Data Mining », p. 1170.

13. Krizhevsky, Sutskever et Hinton, « ImageNet Classification », p. 84 à 89.

14. McDaniel, Papernot et Celik, « Machine Learning in Adversarial Settings », p. 71.

15. McDaniel, Papernot et Celik, « Machine Learning in Adversarial Settings », p. 71.

16. McDaniel, Papernot et Celik, « Machine Learning in Adversarial Settings », p. 70.

17. McDaniel, Papernot et Celik, « Machine Learning in Adversarial Settings », p. 71.

18. McDaniel, Papernot et Celik, « Machine Learning in Adversarial Settings », p. 70.

Le dynamisme de l'espace

expose les lacunes de la politique américaine face à l'escalade des conflits

Par le sergent Simon D. H. Wells

Il existe un vide dans les coutumes et les lois internationales qui rend obscures les normes relatives à l'escalade des conflits dans l'espace. Des coutumes, lois, politiques, règlements et traités sur l'utilisation de l'espace existent au niveau international, mais il n'y a aucun fonds de connaissances unique régissant expressément la conduite des affaires spatiales dans le contexte d'un conflit. C'est plutôt une collection de précédents et de déductions qui orientent les opérations dans l'espace. Les forces armées modernes protègent de près leurs systèmes spatiaux et ceux des acteurs commerciaux dans une situation stratégique précaire qui menace de dégénérer rapidement en conflit[1]. Il conviendrait donc d'élaborer une doctrine sur l'escalade des conflits dans l'espace pour donner ainsi un cadre à la planification des opérations et à l'évaluation des risques.

APERÇU DES OPÉRATIONS SPATIALES

Les systèmes spatiaux sont une combinaison d'atouts spatiaux indépendants ou interdépendants que le Département de la Défense (DoD) des États-Unis (É.-U.) définit comme étant des équipements « qui sont ou peuvent être placés dans l'espace, ou qui appuient directement les activités spatiales depuis des installations terrestres[2] ». L'objet ou le groupe d'objets ne doivent pas nécessairement être dans l'espace pour influer sur ce domaine et ils n'ont pas nécessairement à être sur la Terre pour influer sur les opérations militaires terrestres. Dans le contexte des opérations spatiales, les deux fonctions primordiales sont la connaissance de la situation spatiale (CSS), c'est-à-dire la compréhension des objets présents dans l'espace et l'évolution probable qui aura lieu dans l'espace dans le proche avenir[3], et la gestion du trafic spatial (GTS), c.-à-d. « la planification, la coordination et la synchronisation en orbite des activités pour renforcer la sécurité, la stabilité et la soutenabilité des opérations dans l'environnement spatial[4] ».

Des coutumes, lois, politiques, règlements et traités sur l'utilisation de l'espace existent au niveau international, mais il n'y a aucun fonds de connaissances unique régissant expressément la conduite des affaires spatiales dans le contexte d'un conflit.

Il faut remédier aux lacunes qui existent dans le droit des conflits armés tel qu'il s'applique au domaine spatial, lequel est de plus en plus militarisé et devient une source grandissante de menaces pour la sécurité et les activités civiles nationales[5]. Comme les É.-U. sont la plus grande puissance spatiale et militaire du monde, il convient de voir en eux un modèle pour définir les normes sur l'escalade des conflits lorsqu'il s'agit de réagir à des attaques contre les systèmes spatiaux. À ce stade-ci, les déclencheurs opérationnels importent moins que les facteurs stratégiques tels que les menaces pour l'infrastructure essentielle, les communications militaires ou le système de positionnement mondial (GPS).

Certes, les É.-U. bénéficient d'une supériorité considérable dans l'espace, mais leurs adversaires (Chine, Russie, Iran, Corée du Nord et acteurs non étatiques) accroissent leurs capacités discrètement mais rapidement[6]. Il faut une agilité plus grande pour faire face à des acteurs de plus en plus capables de constituer une menace. En se fondant sur les normes juridiques internationales, il est difficile de définir les paramètres-seuils des attaques auxquelles il convient d'opposer une réaction armée, car les tactiques asymétriques, qui sont de plus en plus employées et efficaces, causent des répercussions indirectes et ont souvent des origines nébuleuses[7]. Outre qu'ils doivent faire preuve d'agilité, les É.-U. ont besoin de comprendre davantage les conséquences politiques des menaces.

De récentes études savantes examinent le fossé qui existe entre les lois et les traités internationaux et l'état actuel des activités spatiales, état qui progresse beaucoup plus rapidement sous l'effet de la technologie que sous celui du consensus[8]. Outre que la technologie accélère l'élaboration des politiques, la discussion sur le droit des conflits armés, sur le droit d'intervention, sur la souveraineté au-dessus du territoire national, sur la non-intervention, sur la coercition et sur une attaque armée explicite repose souvent sur des normes juridiques internationales s'appliquant à l'environnement terrestre[9], car il n'y a aucun précédent dans l'espace. Il existe peu d'expertise qui permettrait d'extrapoler un point de repère. On ignore si les principes de la guerre juste s'appliqueront uniformément dans l'espace comme ils le font sur la Terre, mais le cadre juridique international pour la protection des biens spatiaux devra prendre en considération le fait que l'espace est un milieu opérationnel congestionné où circulent environ 22 000 objets connus et peut-être même des centaines de milliers d'autres[10].

L'adoption de la « Space Policy Directive-3, National Space Traffic Management Policy » par la Maison-Blanche (Directive d'orientation nº 3 sur l'espace – Politique nationale sur la gestion du trafic spatial) est un pas dans la bonne direction qui commence à remédier aux lacunes dans ce domaine. La politique oriente les activités visant à stimuler les sciences et la technologie portant sur la CSS et la GTS, à améliorer la gestion des débris en orbite, à favoriser le leadership commercial américain à tous ces égards, à améliorer la collecte et le partage de renseignements pour maintenir la CSS, à élaborer des pratiques exemplaires, des politiques et des règlements aux fins des opérations orbitales, et à prévenir ou à atténuer les risques pour les satellites et les systèmes de communications[11]. C'est là une expansion considérable des rôles et des responsabilités des organismes fédéraux américains concernés, y compris le National Space Council, la National Aeronautics and Space Administration, les Départements du Commerce, de la Défense, d'État et des Transports, la Federal Communications Commission et toute la gamme des organismes du renseignement[12]. Les intervenants ont favorablement accueilli la « Space Policy Directive-3 », car elle renverse l'annulation du programme de la navette spatiale par le gouvernement précédent, mais elle ne clarifie toujours pas la position précise des É.-U. sur la protection de leurs systèmes spatiaux et la préservation des activités et des capacités clés.

La nécessité critique de protéger les systèmes spatiaux est mise en évidence par une nouvelle course à l'espace qui évolue déjà : dans cette course, une multitude d'acteurs ayant des objectifs différents occupe la même zone d'opérations orbitale.

UN ENVIRONNEMENT DE PLUS EN PLUS

La production d'une carte de base, qui présenterait les facteurs de conflit, les déclencheurs, les mesures à prendre et les interventions dans le domaine spatial, pourrait clarifier ce que serait l'escalade vers un conflit armé et définir les plans d'action militaires probables des forces amies et ennemies. Fondamentalement, donc, la question qui se pose est la suivante : « Quelles menaces ou mesures stratégiques accroîtraient la probabilité d'interventions armées après une attaque contre des systèmes spatiaux? »

La démarche suivie pour répondre à cette question permettrait idéalement de clarifier les priorités militaires et les grandes priorités stratégiques d'une puissance spatiale dans l'espace et les pires risques que courraient les systèmes spatiaux. Elle pourrait aussi cerner les politiques militaires et les lois et coutumes internationales qui autoriseraient une contreattaque si des mesures offensives étaient prises contre les systèmes spatiaux. En clarifiant les pressions qui s'exercent sur les systèmes spatiaux, on produit une estimation de base du risque de conflit armé lié à des attaques cinétiques ou non cinétiques contre ces systèmes.

La pertinence de ce thème est accentuée par la publication, par la Maison-Blanche, de la « Space Policy Directive-2 », qui a ordonné l'examen, la simplification et le maintien prolongé des critères de délivrance des permis commerciaux relatifs à l'espace et à la télédétection[13], et de la « Space Policy Directive-3 », qui a ordonné une augmentation importante des capacités et de l'activité dans les domaines de la GTS et de la CSS[14]. Ces ordres avaient pour but d'accélérer rapidement l'activité commerciale et militaire américaine dans l'espace, ce qui accentue les risques de contestation. Comme l'activité militaire des É.-U. dans l'espace vise à y maintenir et à y accroître leur supériorité et leur accès[15], il y a lieu de prévoir des situations de conflit avec d'autres intervenants dans l'espace. La nécessité critique de protéger les systèmes spatiaux est mise en évidence par une nouvelle course à l'espace qui évolue déjà : dans cette course, une multitude d'acteurs ayant des objectifs différents occupe la même zone d'opérations orbitale.

À cause de la dualité des systèmes spatiaux, issus de technologies à la fois militaires et civiles, les vulnérabilités, les priorités et les responsabilités des deux secteurs sont entrelacées. Le GPS illustre le mieux cette réalité : en effet, il a été créé comme technologie d'orientation militaire avant d'être adopté comme application populaire[16]. La politique américaine sur le GPS vise à en faire un atout toujours accessible, capable de répondre à la demande ou de la dépasser, accessible continuellement et partout dans le monde à des fins pacifiques et permettant de participer aux activités de coopération internationale et de réduction des risques au niveau mondial[17]. Le GPS n'est qu'un exemple de toute une gamme de fonctions essentielles appuyées par des systèmes spatiaux : une analyse faite par la RAND Corporation sur la coopération entre les forces combinées des É.-U. et du Japon a montré que les systèmes spatiaux soutiennent les fonctions clés suivantes du renseignement, de la surveillance et de la reconnaissance : la météorologie; les communications, y compris les systèmes de commandement et de contrôle; les systèmes de navigation et de chronométrage militaires et la CSS[18]. Quand il s'agit de l'espace, il semble qu'il y ait bien peu d'aspects qui soient exclusivement militaires ou civils.

L'Assemblée générale des Nations Unies a adopté la « Résolution 222 » en 1966 pour interdire le déploiement d'armes dans l'espace[19], mais la guerre asymétrique a transformé le contexte dans lequel les conflits se concrétisent, ce qui nécessite maintenant une clarification plus approfondie des lois sur les conflits armés dans l'espace. Dans son évaluation de la menace spatiale de 2018 (Space Threat Assessment 2018), le Center for Strategic & International Studies mentionne la

Chine, la Russie, l'Iran et la Corée du Nord comme étant des sources de menaces, mais il nomme Israël, le Japon, l'Inde, le Pakistan, la Libye, l'Égypte, l'Ukraine et des acteurs non étatiques comme étant des menaces de divers types et à divers degrés pour les systèmes spatiaux, ou comme étant des menaces parce que d'autres parties pourraient se servir d'eux à leurs propres fins[20]. Le rapport élargit la gamme des vulnérabilités pour y inclure les menaces asymétriques telles que des attaques au laser contre des capteurs et des satellites, des armes de grande puissance à micro-ondes, des attaques contre les radiofréquences utilisées par les systèmes de communications, des cybermenaces et des impulsions électromagnétiques, en plus des menaces nucléaires et créées par des missiles[21]. La nouvelle force de soutien stratégique de l'Armée populaire chinoise de libération constitue une menace en devenir : elle maîtrise l'art d'utiliser les systèmes C4ISR (commandement, contrôle, communications, informatique, renseignement, surveillance et reconnaissance); elle est agressive et sait comment lutter contre les systèmes spatiaux et comment créer des capacités[22]. Du point de vue opérationnel, il existe de nombreuses similitudes entre le cyberespace et l'environnement spatial.

CONCLUSION

La continuité des systèmes spatiaux est essentielle aux intervenants militaires et civils. Dans une zone d'opérations qui s'étend rapidement et où sont présents des acteurs et des capacités toujours plus nombreux, les forces aériennes et spatiales doivent analyser à fond les contraintes juridiques et doctrinales qui s'appliquent à elles. En comprenant les seuils de conflit, on garantira l'application mesurée de la force et l'on aidera à prévenir la contestation excessive de l'espace.

Le sergent Simon D. H. Wells est actuellement affecté au Quartier général de la 4e Division du Canada à Toronto, et il est candidat à la maîtrise ès arts dans les domaines de la sécurité humaine et de la consolidation de la paix à l'Université Royal Roads. Dans le cadre de ses recherches, il s'intéresse à l'escalade des conflits dans l'espace et il a écrit des articles sur la sécurité nationale et la logistique.

NOTES

1. L. Grego, « Space Weapons: What Does the Future Hold? », *Peace Magazine*, octobre-décembre 2017, p. 24, consulté le 9 avril 2019, http://peacemagazine.org/archive/v33n4p24.htm .

2. États-Unis, Département de la Défense (DoD), *DoD Dictionary of Military and Associated Terms*, Washington (DC), Département de la Défense, 2019, p. 216, consulté le 9 avril 2019, http://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/dictionary.pdf.

3. É.-U., DoD, « *DoD Dictionary of Military* », p. 217.

4. « Space Policy Directive-3, National Space Traffic Management Policy », Presidential Memoranda, The White House, 18 juin 2018, p. 3.

5. D. Stephens, « Increasing Militarization of Space and Normative Responses », dans *Recent Developments in Space Law: Opportunities and Challenges,* sous la dir. de R. Venkata Rao, V. Gopalakrishnan et K. Abhijeet, Singapour, Springer Nature, 2017, p. 91.

6. T. Harrison, K. Johnson et T. G. Roberts, *Space Threat Assessment 2018,* Washington (D.C.), Center for Strategic and International Studies, 2018, p. 1.

7. J. F. Keen, « Conventional Military Force as a Response to Cyber Capabilities: On Sending Packets and Receiving Missiles », *The Air Force Law Review*, vol. 73 (2015), p. 142144.

8. R. Venkata Rao, V. Gopalakrishnan et K. Abhijeet (sous la dir. de), *Recent Developments in Space Law: Opportunities and Challenges*, Singapour, Springer Nature, 2017, p. vii-viii.

9. D. Stephens, « Increasing Militarization of Space », p. 91-93.

10. M. Ghandi, « Towards a Legal Regime for the Protection of Space Assets », dans *Recent Developments in Space Law: Opportunities and Challenges,* sous la dir. de R. Venkata Rao, V. Gopalakrishnan et K. Abhijeet, Singapour, Springer Nature, 2017, p. 118.

11. « Space Policy Directive-3 », p. 4-6.

12. « Space Policy Directive-3 », p. 12-15.

13. « Space Policy Directive-2, Streamlining Regulations on Commercial Use of Space », Presidential Memoranda, MaisonBlanche, mai 2018, p. 2-3.

14. « Space Policy Directive-3 », p. 3.

15. É.-U., secrétaire à la Défense, « Department of Defense Directive Number 3100.10: Space Policy », Washington (D.C.), DoD, 2012, p. 3.

16. Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite, *The Way Forward: 10 Years of Achievement 2005–2015*, New York, Division de l'espace extraatmosphérique des Nations Unies, 2016, p. 3.

17. Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite, *The Way Forward*, p. 8-9.

18. S. W. Harold et coll., *The U.S.-Japan Alliance and Deterring Gray Zone Coercion in the Maritime, Cyber, and Space Domains*, Santa Monica (Californie), RAND Corporation, 2017, p. 78-79.

19. Assemblée générale des Nations Unies, Résolution 2222 (XXI), Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, New York, Nations Unies, 1966, article IV.

20. Harrison, Johnson et Roberts, *Space Threat Assessment*, p. 22-24.

21. Harrison, Johnson, and Roberts, *Space Threat Assessment*, p. 3-4.

22. K. L. Pollpeter, M. S. Chase et E. Heginbotham, « The Creation of the PLA Strategic Support Force and Its Implications for Chinese Military Space Operations », Santa Monica (Californie), RAND Corporation, 2017, p. 7-11.