

Utiliser un satellite-radar pour obtenir en temps réel des informations météorologiques totalement intégrées

PAR LE LIEUTENANT COLONEL STEVEN T. FIORINO, USAF

Résumé de l'éditeur : Les satellites-radar (Space-Based Radars – SBR) utilisés pour obtenir des informations météorologiques et mener d'autres opérations aériennes militaires/civiles ont généralement été conçus et mis en service séparément. Cet usage a empêché l'intégration des informations météorologiques vitales à durée de vie critique obtenues par radar à d'autres données cruciales obtenues par radar. Le colonel Fiorino soutient que la collecte de données météorologiques obtenues de futurs satellites-radar offrirait des avantages significatifs aux combattants aux niveaux opérationnel et tactique. Dans ce but, il propose des techniques d'intégration de la collecte de données météorologiques à la mission du satellite-radar.

Dans toute opération de combat ou tout conflit, la météo représente probablement votre souci numéro un.

Général Richard B. Myers, (re)
Ancien chairman, chefs d'état-major interarmées

LES PLANS ACTUELS de mise en service de satellites-radar (*Space-Based Radar – SBR*) en 2010 incluent le développement et les essais d'une plateforme spatiale pouvant offrir un éliminateur terrestre d'échos fixes (*Ground Moving Target Indicator – GMTI*), un géo positionnement de précision, une collecte en une passe de données numérisées sur les altitudes du terrain, une protection électronique, une imagerie en une passe par radar à ouverture dynamique (*Synthetic Aperture Radar – SAR*) et des communications sécurisées à débit élevé. Les plans, présentations et communiqués de presse relatifs au satellite-radar n'abordent toutefois pas expressément la collecte de données météorologiques. L'historique du développement du radar suggère que, en dépit de nombreuses similarités matérielles, les radars utilisés pour obtenir des informations météorologiques et mener d'autres opérations aériennes militaires/

civiles ont généralement été conçus et mis en service séparément, probablement à cause de l'importance de la composante humaine de l'analyse qu'exige le traitement des données radar caractéristiques produites par chaque fonction. C'est la raison pour laquelle l'intégration d'informations météorologiques vitales à durée de vie critique obtenues d'un radar à d'autres paramètres clés obtenus de la même façon a historiquement souffert de la lourdeur du processus d'intégration manuelle, qui fait souvent intervenir différents équipements et différentes organisations.

Le présent article part de l'hypothèse selon laquelle les communications et les moyens de traitement du signal électroniques modernes permettrait d'obtenir des informations météorologiques totalement intégrées de la constellation de satellites-radar proposée sans dépassement de coûts ni retard de programme significatifs. Il

présente des techniques éprouvées permettant d'obtenir des informations météorologiques de cette constellation, ainsi que la preuve que des ajouts mineurs d'équipement pourraient grandement améliorer la capacité du satellite-radar à « y voir clair » dans les zones de désordre météorologique. On pourrait s'attendre à ce que l'intégration des informations météorologiques au flux de données du satellite-radar profite de façon significative aux combattants aux niveaux opérationnel et tactique. La collecte des données météorologiques fournies par un satellite-radar offrirait également une vaste source d'informations basées sur l'observation relatives aux conditions météorologiques à l'échelle planétaire, améliorant ainsi les prévisions météo numérisées destinées aussi bien aux forces armées qu'au secteur civil.

Utilisations des radars météorologiques et de poursuite modernes

Cela fait des décennies que des systèmes de détection active à hyperfréquence de surface (radars au sol) surveillent les précipitations à des fins de recherche et d'opérations – et une version spatiale est en service depuis 1997. Les radars qui utilisent l'effet Doppler-Fizeau pour le traitement du signal apparurent pour la première fois pendant la Deuxième Guerre Mondiale pour améliorer la détection des avions et d'autres objets en mouvement en présence d'un « fouillis » d'échos créé par les émissions des lobes secondaires du faisceau radar. Les premiers radars Doppler détecteur de cibles mobiles (*Moving Target Indicator* – MTI) ne détectaient que les mouvements relatifs d'objets au lieu de quantifier les vitesses, comme le font la plupart des radars Doppler à impulsions. La désignation par MTI persiste aujourd'hui comme l'illustre l'équipement radar GMTI utilisé à bord des avions du Système interarmées de surveillance et d'attaque

d'objectifs (*Joint Surveillance Target Attack Radar System* – JSTARS). Le développement rapide du radar Doppler à impulsions fut gêné par l'ampleur extraordinaire du traitement du signal nécessaire pour extraire des estimations quantitatives de la dérive Doppler à chacun des milliers de points qui se trouvent à l'intérieur du cercle de distance d'un radar. Ce ne fut qu'à la fin des années 60 et au début des années 70 que les composants à semi-conducteurs rendirent l'exécution des mesurages Doppler réalisable à tous les niveaux de pouvoir séparateur radial.¹ C'est la raison pour laquelle les 25 premières années d'exploitation des radars furent dominées par le traitement manuel du signal correspondant aux images fugitives affichées sur les écrans à tube cathodique.

La dépendance initiale vis-à-vis du traitement manuel du signal de mesurage des radars influença fortement le développement de secteurs distincts (en termes d'équipement comme de personnel) : météorologie par radar et opérations réservées aux radars militaires de poursuite. Et pourtant, avant même le lancement de Spoutnik en 1957, les deux secteurs reconnaissaient que le satellite représentait la plateforme idéale pour les observations par radars à l'échelle planétaire. Le besoin de telles données exprimé par les milieux scientifiques, civils et militaires est aussi pressant que les applications sont variées.² En dépit du besoin de satellites-radar, le radiomètre (à hyperfréquence, infrarouge et visible) permettait les seules observations depuis l'espace de la surface de la terre ainsi que des nuages qui l'enveloppaient et des précipitation jusqu'au lancement d'un radar de détection des précipitations à bord du satellite de la mission de mesurage des précipitations tropicales (*Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM) en 1997. Jusqu'à récemment, une technologie insuffisamment avancée et des coûts de développement élevé ont gêné les efforts visant à mettre en service un radar spatioporté efficace à des fins militaires. Toutefois, les progrès dont fit preuve

le radar de détection de précipitations du satellite TRMM – s'ajoutant aux améliorations qu'ont connu le rendement et la fiabilité des amplificateurs de puissance, les récepteurs à faible bruit et la technologie des antennes – ont donné naissance à de nouveaux concepts que pourraient exploiter les satellites-radar militaires dans la période 2010-2020.

Dans la mesure où les radars dépendent principalement de la diffusion, un satellite-radar ne connaît pas de problèmes causés par le manque d'un fond homogène, qui entrave l'utilisation de systèmes de détection passive à hyperfréquence au-dessus des terres. Il est instructif à ce point d'examiner le satellite TRMM puisqu'il s'agit du seul satellite opérationnel sur lequel sont embarqués aussi bien un radar qu'un radiomètre qui surveillent simultanément les mêmes volumes d'environnement terrestre. Le TRMM est le premier satellite en orbite autour de la terre équipé d'un radar de détection de précipitations (un radar non-Doppler 13,8 gigahertz [GHz] [2,2 cm]), qui est le seul instrument embarqué sur le TRMM capable d'observer directement la répartition verticale de l'intensité pluviale et fournir une estimation sans équivoque de cette mesure au-dessus aussi bien de la terre que de l'eau. L'empreinte du radar est suffisamment réduite pour permettre d'étudier les effets de précipitations non homogènes par rapport à la résolution comparativement plus grossière des canaux d'émission à plus basse fréquence du radiomètre du TRMM.³

Le TRMM emporte également un radiomètre passif à hyperfréquence, le système imageur à hyperfréquence de TRMM (*TRMM Microwave Imager* – TMI), qui effectue des observations dans neuf canaux à cinq fréquences – 10,7, 19,35, 21,3, 37,0 et 85,5 GHz. D'une conception semblable à celle du système imageur à hyperfréquence et capteur spécial (*Special Sensor Microwave Imager* – SSM/I) du programme de satellites météorologiques de défense (*Defense Meteorological Satellite*

Program – DMSP), le TMI dispose d'une paire supplémentaire de canaux opérant à 10,7 GHz et d'une résolution spatiale approximativement deux fois et demie supérieure grâce à l'altitude inférieure de l'orbite du TRMM, qui est de 350-400 km environ comparée à celle du SSM/I qui est d'environ 800 km.⁴ Le TMI est l'élément le plus actif du TRMM, extrayant par radiomètre des intensités pluviales instantanées en couloirs explorés larges depuis l'espace dans la mesure où la couverture de surface du radar de détection de précipitations est limitée en termes de couloir exploré, dont la largeur n'est égale qu'au tiers environ de celle du TMI. Le principal rôle du radar de détection de précipitations du TRMM est de fournir des détails sur la structure verticale des précipitations ; ces détails aident à affiner les données extraites par le radiomètre.⁵ Les rôles pourraient toutefois être inversés, les données basées sur les émissions extraites par le TMI en couloir exploré large représentant un champ de première approximation pour le radar de détection de précipitations à plus haute résolution et indépendant du fond. Dans le cas d'un satellite à usage principalement militaire, l'avantage d'une telle inversion des rôles est qu'on pourrait utiliser le champ radiométrique de première approximation pour optimiser les algorithmes d'extraction du radar pour tout phénomène météorologique déroutant. En d'autres termes, la combinaison d'un radar et d'un radiomètre pourrait limiter les effets de conditions météo défavorables sur les fonctions de détection et de poursuite du radar.

L'emploi opérationnel actuel du radar reste réparti en termes aussi bien d'équipement mis en service que de personnel formé à l'analyse et au traitement des données observées à distance. Toutefois, les progrès réalisés en matière de moyens de traitement du signal et de technologie matérielle pour radars, ainsi que les succès en matière de météorologie qu'a connu le programme

de satellites TRMM suggèrent une fusion de l'équipement radar météorologique et militaire et du traitement des données depuis une plateforme satellite-radar. Il apparaît clairement qu'on devrait explorer la faisabilité et les avantages possibles d'une telle idée.

Le satellite-radar : un intégrateur de données sur l'espace de bataille ?

Les plans actuels visant la mise en service de satellites-radar en 2010 mettent l'accent sur le développement aussi bien de la technologie que d'un système de renseignement, surveillance et reconnaissance (*Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance* – ISR) capable de fournir en permanence des données d'éliminateur terrestre d'échos fixes et de radar à ouverture dynamique, ainsi que des données numérisées sur les altitudes du terrain (*Digital Terrain and Elevation Data* – DTED) pour une grande partie de la terre. Le système devrait incorporer l'attribution des missions et le contrôle sur le champ de bataille pour faciliter la disponibilité pratiquement en temps réel des données produites par les satellites-radar sur le théâtre d'opérations. Il devrait également permettre aux forces armées de « regarder au fond » de domaines importants précédemment inaccessibles de façon discrète sans risque pour le personnel ou les ressources. On pourrait utiliser cette capacité – qui n'est actuellement pas disponible à l'aide des moyens existants – avant, pendant et après les hostilités.⁶

Une constellation de satellites-radar permettrait de satisfaire ces besoins. Les concepteurs prévoient que la constellation offrira une recherche/poursuite jour et nuit, tout temps, pratiquement constante et à l'échelle planétaire avec éliminateur terrestre d'échos fixes, ainsi qu'une imagerie haute résolution, une liaison descendante directe et pratiquement en

temps réel permettant le transfert au théâtre d'opérations des données GMTI et de l'imagerie collectées au-dessus de celui-ci et enfin la collecte de données numérisées précises sur les altitudes du terrain.⁷ Le centre de commandement, contrôle, renseignement, surveillance et reconnaissance (*Command, Control, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance* – C2ISR) de l'Armée de l'Air américaine a une vision précise de l'emploi d'un satellite-radar – fig. 1, la cinquième d'une série de six illustrations représentant les activités de divers véhicules de surface, aériens et spatiaux communiquant avec les centres de contrôle aéroterrestre pendant les phases de détermination de position, de point, de poursuite, de choix des objectifs et des moyens de traitement, d'engagement et d'évaluation du cycle de choix prioritaire des objectifs et moyens de traitement (*Time-Critical Targeting* – TCT).⁸ On peut voir qu'un satellite-radar fournit une part importante des données cruciales de prise de décision dans toutes les phases du cycle TCT, à l'exception de celle du choix des objectifs et des moyens de traitement. Chose intéressante, aucun plan ni rapport concernant les satellites-radar ne décrit la collecte et l'analyse des données météorologiques, en dépit du fait que les phénomènes atmosphériques ont des effets quantifiables sur tous les aspects des mesures relevées par un satellite-radar dans l'ensemble du cycle TCT.

La collecte de données météorologiques quantifiables et exploitables opérationnellement effectuée par un futur satellite-radar est à la fois possible et réalisable. L'une des conceptions qui semblent le plus s'imposer pour un satellite-radar à l'étude utilise une approche de radar à ouverture dynamique. Le Laboratoire de recherche de l'Armée de l'Air prépare un vol expérimental de démonstration, dénommé *TechSat 21* avec un lancement prévu pour 2006, auquel participera une formation de trois microsatellites légers hautes performances.⁹ Les satellites en formation opéreront ensemble comme un « satellite virtuel »

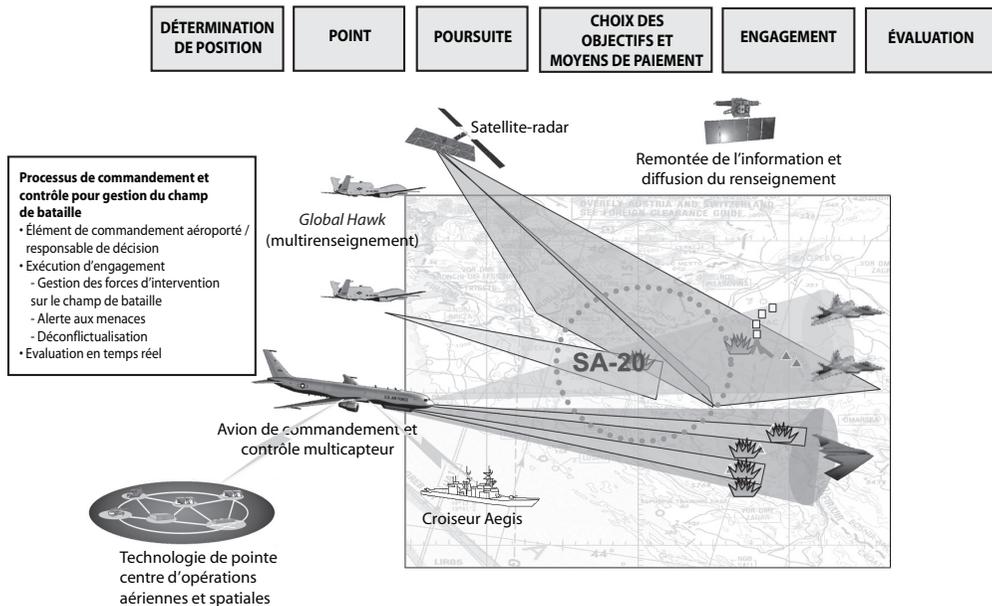


Figure 1. Visualisation des futurs moyens de commandement et de contrôle de l'espace de bataille, y compris un satellite-radar, divers autres véhicules de surface, aériens et spatiaux, des centres de contrôle aéroportés et terrestres et de leur utilisation dans les phases de détermination de position, de point, de poursuite, de choix des objectifs et des moyens de traitement, d'engagement et d'évaluation du cycle TCT. (Extrait de "Transformational Command and Control for Your Generation" (Commandement et contrôle transformationnels pour votre génération) du général de division Robert F. Behler [conférence, Air Command and Staff College, Maxwell AFB, Alabama, janvier 2003].)

avec une seule grande ouverture d'antenne radar.¹⁰ Bien que cette configuration diffère de celles des radars météorologiques au sol existants et du radar de détection de précipitations actuellement embarqué sur le satellite TRMM décrit plus haut, les années 70 ont vu une démonstration de la détection de précipitations et d'autres paramètres météorologiques par un radar à ouverture aérodynamique aéroporté.¹¹ Par conséquent, le traitement du signal météo – à des fins de météorologie et d'extension des opérations – pourrait être intégré au traitement analytique du flux de données transmis par le satellite-radar sans encourir le coût d'un ajout à (ou d'une modification de) tout équipement/capteur prévu pour le satellite-radar.

Données météorologiques transmises par un satellite-radar : avantages et utilité

Comme indiqué précédemment, les radars destinés à la collecte de données météorologiques et ceux qui sont à usage essentiellement militaire ont en général été financés et développés séparément en dépit de leurs similarités en termes d'équipement de base, de fréquences et d'opérations prises en charge. La multiplication inutile de l'équipement mis en service a fortement (et inutilement) augmenté le coût du soutien radar des opérations aériennes militaires (et civiles) mais elle a également fragmenté la comptabilité de la variable matérielle la

plus significative affectant aussi bien l'équipement radar que les opérations militaires soutenues par le radar : les conditions météorologiques. Le fait que les radars qui produisent un flux de données numérisées puissent avoir plusieurs usages – y compris la collecte de données météorologiques intégrées aux données de poursuite d'objectifs militaires – offre une occasion manifeste d'amélioration.

Parmi des exemples d'inter applicabilité des radars météorologiques, militaires et/ou aériens, on peut citer la capture de routine des zones de précipitations et de cisaillement du vent sur les radars de contrôle de la circulation aérienne (informations rarement transmises aux météorologues locaux) et la détection des paillettes larguées lors d'exercices militaires dans l'imagerie WSR-88 NEXRAD (le réseau de radars Doppler du Service de la météorologie nationale). En outre, les radars météorologiques au sol NEXRAD permirent ce qui fut peut-être la meilleure poursuite radar de la chute de débris résultant de la catastrophe qui frappa la navette spatiale *Columbia* (fig. 2).

Quelles que soient la configuration définitive et les fréquences de service de la constellation de satellites-radar, il faudra tenir compte des aspects météorologiques de l'atmosphère de la terre – en particulier les nuages, leur microphysique et les précipitations – si la plateforme doit offrir une capacité homogène, fiable et « tout temps ». Par conséquent un satellite-radar effectuera une collecte minimum de données météorologiques, qu'il s'agisse d'une tâche déclarée ou non, même si cela ne sert qu'à désigner de nombreuses zones cachées comme zones de « désordre météorologique ».

En outre, les satellites-radar à balayage vers le bas offrent un champ de visée avantageux pour les applications aussi bien militaires que météorologiques. En particulier les radars à balayage vertical offrent un moyen de rechange d'illumination des objets qui présentent une section transversale faible lorsqu'ils sont vus horizontalement mais beaucoup plus importante verticalement. Ce principe est

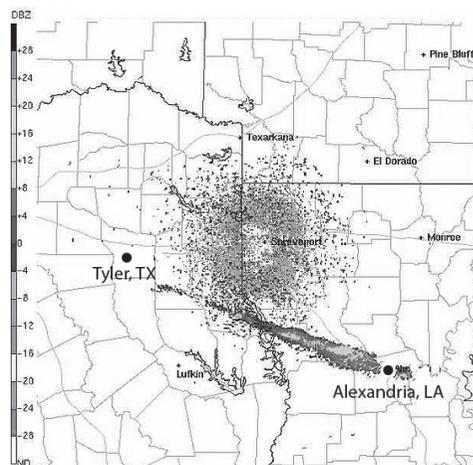


Figure 2. Image radar fournie par le Service de la météorologie nationale (Shreveport, Louisiane) datant du 1er février 2003. La ligne d'échos qui va de Tyler, Texas, à Alexandria, Louisiane, représente la chute de débris de la navette spatiale *Columbia*. Le groupement d'échos en forme d'anneau autour de Shreveport représente le fouillis au sol.

illustré par la différence de sections transversales que l'on note lorsqu'on regarde droit devant soi un bombardier B-2 en vol – comme le ferait un radar au sol alors que l'appareil est encore très loin – puis qu'on regarde le même avion droit vers le bas, comme le ferait un satellite-radar. Les radars à balayage vertical présentent le net avantage météorologique d'offrir une résolution bien supérieure le long de l'axe dans lequel les paramètres météorologiques changent le plus sur les distances les plus courtes (p. ex., considérons la distance qu'on devrait parcourir à l'horizontale pour connaître le même changement de temps qu'on rencontrerait en escaladant une montagne culminant à 10 000 pieds). Les radars météorologiques à balayage vers le bas peuvent en outre être conçus pour consommer beaucoup moins de courant et utiliser des antennes beaucoup plus petites dans la mesure où leurs faisceaux verticaux traversent une « atmosphère » considérablement moins

affaiblissante que leurs homologues à balayage horizontal.

En tant que moyen essentiel de renseignement-surveillance-reconnaissance de l'avenir, le satellite-radar offre d'énormes avantages, non seulement à cause de son champ de visée vertical depuis l'espace mais également grâce à son potentiel en tant qu'intégrateur de données. Le traitement simultané de l'information météorologique – relative par exemple aux précipitations, à l'humidité et aux vitesses du vent – intégrerait en temps réel les effets environnementaux vitaux au processus TCT de détermination de position, de point, de poursuite, de choix des objectifs et des moyens de traitement, d'engagement et d'évaluation du cycle de choix prioritaire des objectifs et moyens de traitement. Les informations météo sont actuellement intégrées manuellement à ce processus TCT en superposant l'analyse météorologique à l'imagerie. A cause de la lourdeur de ce processus d'intégration, un volume significatif d'informations météo utiles collectées à l'aide de moyens de renseignement-surveillance-reconnaissance distincts (tels que les satellites météorologiques de défense ou les satellites géostationnaires de surveillance de l'environnement opérationnel) est exclu du processus TCT.

Le fait que des plateformes publiques et militaires telles que les radars et les satellites de soutien de défense puissent collecter des informations cruciales qui sont inutilisées ou collectées inutilement et à grands frais par une autre plateforme n'échappe pas complètement aux chefs et visionnaires militaires d'aujourd'hui. Le général Lance Lord, (re), ancien commandant du *Space Command* de l'Armée de l'Air, a déclaré que « nous obtenons beaucoup de données... Nous en collectons de plus en plus et en profitons de moins en moins » ; il admit que l'utilisation d'un satellite-radar pour fournir des informations météorologiques intégrées accompagnant les informations GMTI prévues constituerait un exemple de possibilité de « mieux profiter des données ». ¹² Le général Lord nota

également que même si « nombreux sont ceux qui pensent acquérir et mettre en service un plus grand nombre de plateformes, rares sont ceux qui cherchent des moyens permettant d'exploiter plus complètement les données fournies par les plateformes existantes et futures – nous devons mieux exploiter les données. » ¹³

La collecte et l'exploitation de données météorologiques dans l'espace, comme le permettent les satellites météorologiques de défense, ont longtemps été considérées comme un multiplicateur de force significatif – principalement aux niveaux stratégique et opérationnel de la guerre. L'incorporation d'informations météo intégrées en temps réel aux informations GMTI ferait de la collecte de données météorologiques dans l'espace un multiplicateur de force au niveau tactique également. Les données météo collectées en temps réel par des satellites-radar pourraient effectivement fournir les informations cruciales pour une prise de décision rapide (peut-être automatisée) dont on a besoin pour sélectionner les armes et les tactiques (fig. 3). Ces informations hautement périssables de choix des objectifs et des moyens de traitement résident manifestement au niveau tactique de la guerre, offrant un excellent exemple de la façon dont l'intégration de la collecte de données météorologiques au traitement des données collectée par un satellite-radar ferait de celui-ci un participant essentiel aux six phases – détermination de position, point, poursuite, choix des objectifs et des moyens de traitement, engagement et évaluation – du processus TCT.

La figure 3 démontre également que le Centre interarmées et/ou multinational d'opérations aériennes et spatiales (*Joint And/Or Combined Air and Space Operations Center – JAOC/CAOC*) deviendrait un foyer d'effets salutaires des données météorologiques et océanographiques collectées et intégrées par les satellites-radar. La collecte automatisée de données météo intégrées en temps réel par des satellites-radar augmenterait

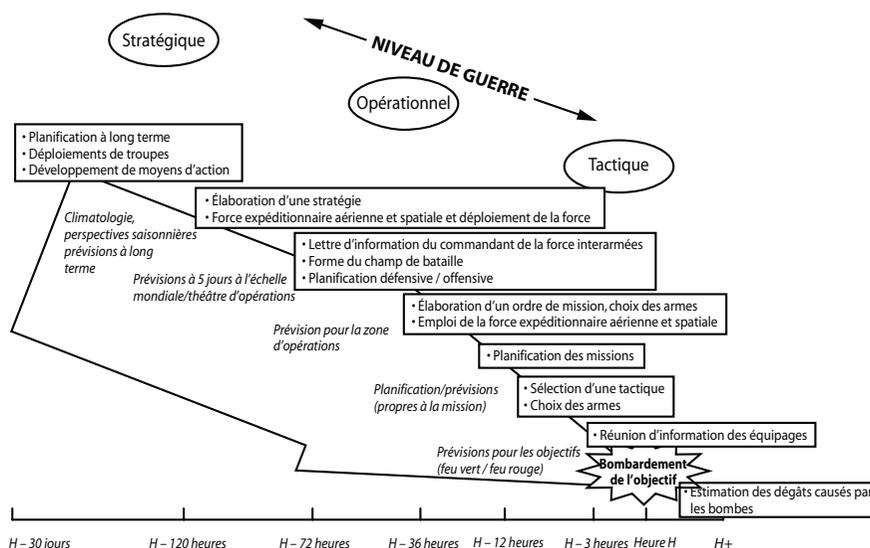


Figure 3. Impact des conditions météorologiques sur les opérations aux niveaux stratégique, opérationnel et tactique de la guerre. (Adaptée d'une diapositive AF/XOW, général de brigade David L. Johnson, (re) "Environmental Situational Awareness" (Connaissance de la situation environnementale), [avant-première de la conférence sur la météorologie donnée dans le cadre du cours destiné aux commandants des composantes aérienne et spatiale de la force interarmées, Air War College, Maxwell AFB, Alabama, 8 février 2003].)

grandement la capacité de l'équipe météo du CAOC à soutenir immédiatement et simultanément les opérations des cinq divisions de celui-ci (stratégie, plans, opérations en cours, renseignement-surveillance-reconnaissance et mobilité aérienne) à tous les niveaux de la guerre. De telles informations météo collectées dans l'espace et entrelacées opérationnellement appuieraient fermement l'affirmation du général de brigade David L. Johnson, (re), ancien directeur du Service météorologique de l'Armée de l'Air, selon qui la météorologie est l'élément de renseignement-surveillance-reconnaissance crucial, ce qu'il exprime en utilisant l'acronyme « WISR » (W comme "weather" [météo], plus "ISR" [initiales des mots anglais signifiant renseignement-surveillance-reconnaissance], que l'on prononce « wiser » [plus sagace]).¹⁴

L'exploitation du flux de données fourni par les satellites-radar pour permettre

une analyse météorologique mettrait les chefs militaires ainsi que les centres de commandement et contrôle « plus sagaces » au courant de ces informations et pourrait améliorer les prévisions météo numérisées à l'échelle mondiale – pour les activités aussi bien militaires que civiles. La collecte de données météorologiques par un satellite-radar et le traitement du signal qui en résulte fournirait sans aucun doute des informations atmosphériques sur de vastes zones qui ne sont pas échantillonnées régulièrement. La simple incorporation en temps opportun de telles données au système d'assimilation des données météorologiques à l'échelle planétaire pourrait améliorer grandement les prévisions météo numérisées à courte et moyenne portées. Une étude récente a montré que l'incorporation de plus de 170 000 observations automatisées effectuées à partir d'avions commerciaux dans le monde entier

entraîna une réduction de 10 pourcent des erreurs de prévisions de vent dans le modèle à cycle d'actualisation rapide utilisé aux Etats-Unis.¹⁵ Il est intéressant de noter que les observations automatisées effectuées à partir d'avions commerciaux furent principalement enregistrées à une même altitude proche de 30 000 pieds plutôt que dans toute l'atmosphère. Le satellite-radar pourrait collecter des données de profil atmosphérique (à plusieurs intervalles verticaux espacés régulièrement au-dessus de chaque point de la surface), permettant d'obtenir des données beaucoup plus abondantes qui conduiraient probablement à leur tour à une amélioration considérable des prévisions météo numérisées.

Les techniques mises au point pour effectuer le traitement du signal des informations météorologiques collectées par satellite-radar pourraient ultérieurement conduire à des méthodes d'extraction de données météo intégrées fournies par le système radar interarmées de surveillance et d'attaque d'objectifs (JSTARS) et par les radars à ouverture dynamique (SARs) Global Hawk. Une exploitation totale des moyens radars spatiaux et aéroportés pour toutes les informations GMTI, DTED et météorologiques est en accord total avec le concept de choix collaboratif réseau centré des objectifs et des moyens de traitement (*Network Centric Collaborative Targeting* – NCCT) du plan de transformation, un système d'exploitation conçu pour intégrer totalement les moyens de renseignement-surveillance-reconnaissance aériens, spatiaux et de surface au niveau numérique.¹⁶ Le plan déclare que « en permettant une interface transparente de machine à machine, le NCCT peut améliorer de façon spectaculaire l'environnement de traitement géo réparti en exerçant un effet multiplicateur sur les capteurs, les communications et les systèmes de traitement existants. »¹⁷

Enfin, la recherche météorologique menée actuellement à l'aide du radar de détection de précipitations TRMM associé à des radiomètres passifs à hyperfréquence tels

que ceux qui sont embarqués à bord des satellites DMSP, suggère que les effets d'obscurcissement du temps pourraient finir par être réduits ou pratiquement éliminés pendant le traitement du signal (suppression du « désordre météorologique »). Un autre avantage de l'ajout d'un radiomètre à chacun des satellites de la constellation de satellites-radar est le triplement de la couverture au sol (voir plus haut l'examen du satellite TRMM). Des mesures par radiomètres permettraient une caractérisation plus complète de la météo dans la mesure où la combinaison de capteurs de radar/radiomètre expliquerait mieux les propriétés de dispersion et d'émission de l'atmosphère et de ses éléments constitutifs naturels et artificiels. Une telle caractérisation de l'environnement météorologique dans lequel opère le satellite-radar faciliterait l'élimination des conditions ambiantes défavorables qu'un adversaire pourrait exploiter pour se mettre à couvert.

L'ajout d'un radiomètre à bord d'un satellite-radar causerait évidemment un alourdissement et un renchérissement. Cependant, les radiomètres utilisés actuellement à bord des satellites DMSP et TRMM sont fiables, scientifiquement sains et disponibles immédiatement dans le commerce. Leur coût paraîtrait dérisoire comparé aux coûts totaux du développement du satellite-radar.

Conclusions

Comme indiqué précédemment, il n'est pas possible de collecter ni de traiter opérationnellement les données météo reçues de pratiquement tous les radars à cause de l'ampleur considérable du traitement du signal nécessaire pour obtenir de ces systèmes des informations utiles et rapidement communicables. Jusqu'à l'avènement des composants électroniques à semi-conducteurs à la fin des années 60 et des progrès accomplis ensuite en matière de technologie informatique, l'ampleur du traitement du signal radar

nécessaire obligea à avoir recours à des équipements distincts et à des analystes ayant reçu des formations aussi distinctes pour chaque discipline radar. En dépit des moyens modernes qui permettent désormais un traitement automatisé et intégré du signal, cette division entre radars militaires et météorologiques persiste aujourd'hui – témoin le manque d'attention accordé à la météorologie dans le projet de satellites-radar.

Cet article suggère que la collecte de données météorologiques quantifiables et exploitables opérationnellement par un futur satellite-radar apparaît à la fois possible et réalisable. Les techniques permettant d'obtenir des informations météorologiques à l'aide des méthodes et de l'équipement proposés pour le satellite-radar existent depuis longtemps. L'exploitation d'informations météo intégrées collectées par satellite-radar est réalisable parce qu'elle pose un problème de traitement du signal plutôt qu'un autre qui exigerait l'utilisation d'un nouvel équipement coûteux. Nous devons toutefois mener d'importantes recherches supplémentaires afin de développer des algorithmes particuliers d'extraction de données météo utilisables sur le flux de données des satellites-radar. Le service chargé du programme de satellites de ce type devrait par conséquent travailler en étroite collaboration avec les écoles militaires du troisième cycle telles que l'*Air Force Institute of Technology* et la *Naval Postgraduate School* pour mener l'effort de création des algorithmes. Le recours à des écoles militaires devrait permettre de maintenir les coûts de recherche en dessous de ceux qu'on pourrait encourir avec des établissements civils.

La collecte de données météo intégrées en temps réel transmises par le satellite-radar permettrait de profiter de l'utilité et de l'avantage qu'offre l'entrelacement total de ces données dans le cycle TCT et ainsi d'incorporer immédiatement des informations météo cruciales périssables

dans toutes les phases du cycle TCT de détermination de position, point, poursuite, choix des objectifs et des moyens de traitement, engagement et évaluation. Cela permettrait d'extraire encore plus de fonctionnalité du système à satellites-radar et de garantir qu'il est tenu compte au maximum de la météorologie en temps réel (pas des prévisions) lors de la prise des décisions prioritaires concernant la sélection des armes et des tactiques. Par conséquent, les informations météorologiques fournies par un satellite-radar incorporeraient efficacement des données météo très utiles fournies par un moyen spatial au niveau tactique de la guerre, ainsi qu'aux niveaux stratégique et opérationnel.

L'exploitation des données météo collectées par un satellite-radar permettrait également d'obtenir une vaste source de données météo observées dans le monde entier et ainsi d'améliorer les prévisions météo numérisées destinées aux activités aussi bien militaires que civiles. En plus des informations sur le vent recueillies grâce à l'effet Doppler, un satellite-radar fournirait des informations sur le profil microphysique – précipitations, nuages et humidité –, ce qui pourrait améliorer de façon significative les prévisions numérisées. Afin de quantifier d'une façon plus précise la contribution des données météo collectées par des satellites-radar à l'amélioration des prévisions au profit des activités aussi bien militaires que civiles, le service chargé du programme de satellites-radar devrait mener une étude en coopération avec l'Agence météorologique de l'Armée de l'Air, qui est dans une position idéale pour examiner les effets d'observations météo supplémentaires sur les modèles météorologiques. Cette agence est chargée de fournir des prévisions basées sur des modèles numérisés à échelle fine pour différentes régions du monde jusqu'à quatre fois par jour.

L'exploitation des données météo pourrait procurer des avantages encore plus grands au programme de satellites-radar si les coûts plus élevés associés à l'acquisition d'un matériel supplémentaire deviennent acceptables. C'est

la raison pour laquelle une étude complète par analyse des coûts du besoin, des avantages et de la justification des initiatives d'exploitation des données météo collectées par satellites-radar s'impose absolument. Une telle étude – que l'*Air Force Institute of Technology*, la *Naval Postgraduate School* ou une combinaison des deux sont peut-être les plus qualifiés pour mener – pourrait mettre en lumière à la fois une solution à coût minimum sans acquisition de matériel supplémentaire et un projet plus coûteux et plus avantageux impliquant certains ajouts au satellite-radar.

Cet article suggère qu'un traitement simultané des données météorologiques

extraites du flux de données du satellite-radar proposé s'avérerait militairement avantageux, rentable et utile aux activités civiles. Compte tenu de l'effet de la météorologie sur tous les aspects des opérations militaires et de sa situation de milieu dans lequel un satellite-radar évoluera, l'argument le plus solide que l'on puisse avancer est peut-être que le programme de satellites-radar ne peut atteindre son objectif d'« élaboration d'une architecture intégrée et interopérable de gestion de l'information à l'échelle d'un théâtre d'opérations ou du pays » sans incorporer le traitement du signal météorologique.¹⁸ □

Notes

1. Richard J. Doviak et Dusan S. Zmic, *Doppler Radar and Weather Observations* (Radar Doppler et observations météorologiques), (San Diego: Academic Press, 1993), 6.

2. Robert Meneghini et Toshiaki Kozu, *Spaceborne Weather Radar* (Satellite-radar météorologique), (Boston: Artech House, 1990), 1.

3. C. D. Kummerow et K. Okamoto, "Space-Borne Remote Sensing of Precipitation from TRMM" (Télé-détection dans l'espace des précipitations par TRMM), in *Review of Radio Science*, sous la direction de W. Ross Stone (Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press, 1999), 487–502.

4. Ibid.

5. Steven T. Fiorino, "Investigation of Microphysical Assumptions in TRMM Radiometer's Rain Profile Algorithm Using KWAJEX Satellite, Aircraft and Surface Datasets" (Examen des hypothèses microphysiques soutenant l'algorithme de profil de précipitations du radiomètre TRMM à l'aide d'ensembles de données pour moyens spatiaux (satellite KWAJEX), aériens et de surface) (thèse de doctorat, Florida State University, 2002), 13.

6. Fiche d'information de l'Armée de l'Air, "Space-Based Radar – SBR" (Satellite-radar), juin 2001, 1.

7. Ibid.

8. Quartier général de l'Armée de l'Air, Division de la Transformation, "The USAF Transformation Flight Plan, FY03–07" (Le plan de transformation de l'Armée de l'Air, exercices 2003-07), novembre 2002, 3.

9. Jane Sanders, "Radar Revolution: Space-Based Radar Operating from a Microsatellite Cluster Will Provide New Military Capabilities" (Révolution du radar : un satellite-radar opérant au sein d'un groupe de microsattelites offrira un nouveau potentiel militaire), *Research Horizons Magazine*, automne 2002, 1.

10. Ibid.

11. D. Atlas, C. Elachi et W. E. Brown Jr., "Precipitation Mapping with an Airborne Synthetic Aperture Imaging Radar" (Cartographie des précipitations à l'aide d'un radar imageur aéroporté à ouverture dynamique), *Journal of Geophysical Research*, n° 82 (1977): 3445–51; Meneghini et Kozu, *Spaceborne Weather Radar* (satellite-radar), 105–7.

12. John A. Tirpak, "The Space-Based Radar Plan" (Le projet de satellites-radar), *Air Force Magazine*, août 2002, 65.

13. Général Lance W. Lord, entretien avec l'auteur, Air Command and Staff College, Maxwell AFB, Alabama, 24 février 2003.

14. Général de brigade David L. Johnson, (re) "Environmental Situational Awareness" (« Connaissance de la situation environnementale » – avant-première de la conférence sur la météorologie donnée dans le cadre du cours destiné aux commandants des composantes aérienne et spatiale de la force interarmées), Air War College, Maxwell AFB, Alabama, 8 février 2003).

15. William R. Moninger, Richard D. Mamrosh et Patricia M. Pauley, "Automated Meteorological Reports from Commercial Aircraft" (Rapports météorologiques automatisés fournis par les avions commerciaux), *Bulletin of the American Meteorological Society* 84, n° 2 (février 2003): 203–16.

16. Quartier général de l'Armée de l'Air, Division de la Transformation, "USAF Transformation Flight Plan" (Le plan de transformation de l'Armée de l'Air), 1.

17. Ibid.

18. Secrétariat d'état à l'Armée de l'Air, "Space Based Radar Battle Management Command, Control and Communications Risk Reduction (SBR BMC3 Risk Reduction)" (Réduction du risque affectant le commandement, contrôle et communication pour la gestion tactique par satellite-radar), 30 décembre 2002.