

P- 348967

UNLIMITED

AGARD-AR-360 Vol. I(F)

AGARD-AR-360 Vol. I(F)

AGARD

ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT
7 RUE ANCELLE, 92200 NEUILLY-SUR-SEINE, FRANCE

AGARD ADVISORY REPORT 360

Aéronautique et espace à l'horizon 2020 (Aerospace 2020)

Volume I (French)

TOP PRIORITY - SINGLE COPY

Processed / ~~Not processed~~ by DIMS

..... Signed date



NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION

Published December 1997

Distribution and Availability on Back Cover

UNLIMITED

AGARD

ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT

7 RUE ANCELLE, 92200 NEUILLY-SUR-SEINE, FRANCE

AGARD ADVISORY REPORT 360

Aéronautique et espace à l'horizon 2020

(Aerospace 2020)

Volume I (French)



North Atlantic Treaty Organization
Organisation du Traité de l'Atlantique Nord

The Mission of AGARD

According to its Charter, the mission of AGARD is to bring together the leading personalities of the NATO nations in the fields of science and technology relating to aerospace for the following purposes:

- Recommending effective ways for the member nations to use their research and development capabilities for the common benefit of the NATO community;
- Providing scientific and technical advice and assistance to the Military Committee in the field of aerospace research and development (with particular regard to its military application);
- Continuously stimulating advances in the aerospace sciences relevant to strengthening the common defence posture;
- Improving the co-operation among member nations in aerospace research and development;
- Exchange of scientific and technical information;
- Providing assistance to member nations for the purpose of increasing their scientific and technical potential;
- Rendering scientific and technical assistance, as requested, to other NATO bodies and to member nations in connection with research and development problems in the aerospace field.

The highest authority within AGARD is the National Delegates Board consisting of officially appointed senior representatives from each member nation. The mission of AGARD is carried out through the Panels which are composed of experts appointed by the National Delegates, the Consultant and Exchange Programme and the Aerospace Applications Studies Programme. The results of AGARD work are reported to the member nations and the NATO Authorities through the AGARD series of publications of which this is one.

Participation in AGARD activities is by invitation only and is normally limited to citizens of the NATO nations.

The content of this publication has been reproduced directly from material supplied by AGARD or the authors.



Printed on recycled paper

Published December 1997

Copyright © AGARD 1997
All Rights Reserved

ISBN 92-836-2001-1



*Printed by Canada Communication Group Inc.
(A St. Joseph Corporation Company)
45 Sacré-Cœur Blvd., Hull (Québec), Canada K1A 0S7*

Avant-propos

Le changement a des répercussions sur tous les aspects de notre vie, et son rythme s'accélère. Afin de prévoir jusqu'où l'OTAN et ses pays membres seront conduits par les forces du changement au cours des prochaines vingt cinq années, le Groupe consultatif pour la recherche et les réalisations aérospatiales de l'OTAN (AGARD) a lancé l'étude "Aéronautique et espace à l'horizon 2020".

L'étude tente de trouver un juste équilibre entre les possibilités et les potentialités. Certains des débats qu'elle contient sont, sans doute, soit trop conservateurs, soit trop optimistes. Quoiqu'il en soit, "Aéronautique et espace à l'horizon 2020" tente d'identifier les méthodes et les processus qui permettront à l'Alliance et aux Nations de profiter des possibilités offertes et de se prémunir contre les dangers potentiels qui sont la conséquence inévitable de tout changement.

L'étude a bénéficié de la participation de la quasi-totalité de la structure AGARD, tout en tirant parti des connaissances de ses propres Panels techniques, composés d'experts dans tous les domaines aéronautiques, allant de la médecine aérospatiale à la dynamique des fluides. L'étude a également fait appel aux compétences techniques militaires des membres du Comité des études en vue d'applications aérospatiales de l'AGARD, ainsi que le savoir faire en gestion de l'information de son Comité d'information technique. Conformément à la nature et à la philosophie de l'AGARD, chacun des participants a cherché à élargir son réseau de professionnels pour y inclure les avis et les opinions d'experts civils et militaires travaillant dans l'industrie, dans l'administration et aux universités.

Nous saisissons cette occasion pour remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de l'étude "Aéronautique et espace à l'horizon 2020". En particulier, nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements au Docteur Hywel Davies, rapporteur; au Lt. Col. John Wheatley, administrateur responsable de l'étude; et à Jürgen Wild, le Directeur de l'AGARD, et son personnel.

En évoluant vers la nouvelle Organisation OTAN de Recherche et Technologie, l'AGARD continuera à apporter à l'Alliance sa volonté de servir, son esprit de coopération internationale et sa vocation professionnelle. C'est dans cet esprit que l'étude "Aéronautique et espace à l'horizon 2020" est présentée. Nous espérons qu'elle s'avérera utile pour l'OTAN et ses pays membres, pour les plans, les préparatifs et les décisions prises en vue de notre entrée dans le 21^{ème} siècle.



Michael I. Yarymovych
Chairman of AGARD



Nils Holme
Study Director
Aerospace 2020

Foreword

Change is affecting every aspect of our lives, and the pace of change is accelerating. In an effort to forecast where the forces of change will lead NATO and its member Nations over the next quarter century, the NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD) commissioned the *Aerospace 2020* study.

The study attempts to strike a balance between possibility and promise. Some discussions are undoubtedly too conservative while others too optimistic. In any case, *Aerospace 2020* attempts to identify methods and processes that will help the Alliance and the Nations benefit from the opportunities, and prepare for the possible dangers, which change inevitably creates.

The study involved virtually all of the AGARD organisation, capitalising, in particular, on the strengths of its seven Technical Panels composed of experts in fields ranging from aerospace medicine to fluid dynamics. The study also tapped the military expertise of representatives from AGARD's Aerospace Applications Studies Committee and the information management skills of the Technical Information Committee. Consistent with the nature and philosophy of AGARD, each of these participants expanded the network of professionals to include views and opinions of civilian and military experts from industry, government and academia.

We wish to take this opportunity to thank all of the people who contributed to the *Aerospace 2020* study and assisted in its preparation and production. Special thanks are extended to Dr. Hywel Davies, rapporteur; to Lt. Col. John Wheatley, study executive; and to Jürgen Wild, Director of AGARD, and his staff.

As AGARD evolves into NATO's new Research and Technology Organisation, it will retain its spirit of service to the Alliance, of international cooperation and of dedicated professionalism. It is in keeping with this spirit that *Aerospace 2020* is presented, and we hope the study will prove valuable to NATO and its members as plans, preparations, and decisions are made for our entry into the 21st century.



Michael I. Yarymovych
Chairman of AGARD



Nils Holme
Study Director
Aerospace 2020

* The English (original) version was published in April 1997 as AR-360, Vol. I, "Aerospace 2020: Summary".

Contents

Avant-propos	iii
Foreword	iv
	Page
1. Introduction	1
Hypothèses fondamentales	1
Approche	2
Des moyens technologiques aux capacités opérationnelles	3
Relations avec d'autres études	4
2. Une vision du monde	5
Prolifération des technologies	5
Asymétries de conscience	6
Les moteurs du changement	6
L'impulsion civile	6
Environnements synthétiques	7
Accès à l'espace	7
Miniaturisation	7
Partenariat homme-machine	8
3. Prédominance de l'information	9
Connaissance de la situation	9
Systèmes de détection	10
Fusion des données	11
Réseaux de télécommunications et d'information	12
Prise de décision	13
Plans et ordres	14
Conclusions et recommandations	14
4. Systèmes d'armes	17
Armes à énergie dirigée	17
Armes à énergie dirigée à laser	17
Armes électromagnétiques	18
Aéronefs tactiques sans pilote	19
Aéronefs à très long rayon d'action et très longue endurance	20
Aéronefs sans pilote et véhicules télécommandés à long rayon d'action et longue endurance	21
Missiles hypersoniques à propulsion aérobie	21
Lanceurs suborbitaux réutilisables	22
Futurs avions de combat pilotés	23
Conclusions et recommandations	23
5. Vulnérabilités et menaces	25
Systèmes d'information	25
Armes à laser	26
Missiles à coût réduit	27
Aéronefs sans pilote	27
Missiles hypersoniques	27
Recommandations	28
6. Coût de possession acceptable	29
Conclusions et recommandations	31
7. Recherche technologique au sein de l'OTAN	33
Annexe A : Membres du groupe d'étude	35

1. Introduction

Le défi des évolutions auquel l'OTAN est confrontée comporte de nombreuses facettes et, en particulier, le progrès rapide de la technologie. Les transformations sont telles que leurs effets combinés pourraient modifier considérablement la nature de la puissance militaire dans l'avenir.

Le Groupe consultatif pour la recherche et les réalisations aérospatiales de l'OTAN (AGARD) a reconnu que l'importance de ces mutations et de leurs ramifications est telle qu'elles doivent faire l'objet d'un examen plus approfondi. En mars 1995, le Conseil des délégués nationaux de l'AGARD a lancé une étude dont les objectifs étaient les suivants :

- Evaluer l'influence des technologies émergentes sur l'évolution des transformations des systèmes aérospatiaux et des concepts opérationnels ;
- Attirer l'attention des décideurs sur les avantages que peuvent apporter ces nouvelles technologies à l'OTAN et aux nations membres et les sensibiliser aux menaces éventuelles que ces technologies nouvelles ou celles déjà existantes peuvent représenter entre les mains d'adversaires potentiels ;
- Recommander aux nations de mener des recherches actives, individuellement et en coopération, sur les techniques aérospatiales les plus prometteuses et formuler des conseils sur l'action collective à prendre le cas échéant.

Pour atteindre ces objectifs, l'étude 2020 examine les technologies les plus avancées faisant actuellement l'objet de travaux de recherche et de développement dans les laboratoires. Plutôt que de spéculer sur des théories scientifiques et technologiques pour le futur, l'étude est centrée sur les technologies actuelles les plus prometteuses et sur leurs conséquences tactiques et organisationnelles, au cours des 25 prochaines années, tant au niveau du champ de bataille que sur les systèmes d'armes.

La période couverte par l'étude -de 1995 à 2020- repose sur l'opinion, partagée par beaucoup, que les principaux systèmes qui seront utilisés dans 10 ans existent déjà aujourd'hui. Cependant, après 10 ans des systèmes nouveaux pourraient être à l'origine de concepts radicalement nouveaux dans la manière dont la force militaire, ou la menace de son engagement, sera utilisée pour influencer les volontés et les actes d'autrui.

On peut remarquer que la note de "20 sur 20" est celle correspondant médicalement, dans les milieux anglo-saxons, à une vue parfaite et on dit souvent qu'une vision rétrospective a toujours "20 sur 20". L'espoir de l'AGARD est que cette étude sur les technologies aérospatiales et leurs effets à l'horizon 2020 montrera une prévision de 20 sur 20.

Hypothèses fondamentales

Le principal objectif de l'Alliance est de garantir la sécurité militaire de ses Etats membres. Cet objectif et les hypothèses ci-dessous forment la base des questions abordées dans le présent volume :

- L'OTAN doit rester prête à agir pour la défense directe de ses Etats membres.
- L'OTAN doit rester prête à engager des actions contre les menaces à l'égard des intérêts vitaux de l'Alliance en dehors de la zone OTAN. Ces opérations peuvent aller d'une guerre à grande échelle à des conflits de faible intensité en passant par une action anti-terroriste.

- Les contraintes éthiques existant au sein de l'OTAN en matière de conduite d'un conflit violent et d'une guerre ne vont pas diminuer ; il est probable, au contraire, qu'elles vont s'intensifier. Cependant, des adversaires potentiels peuvent ne pas respecter ou appliquer les mêmes contraintes.
- Le nombre de membres de l'OTAN augmentera au cours des prochaines décennies. Cet élargissement nécessitera l'intégration de nouvelles forces et infrastructures nationales.

Tout en demeurant une alliance puissante et indépendante, l'OTAN continuera à coopérer étroitement avec les Nations Unies afin de régler les conflits internationaux par des moyens diplomatiques et/ou militaires. Les Nations Unies continueront de soutenir les forces militaires engagées dans un certain nombre d'opérations à travers le monde. Comme aujourd'hui, l'OTAN pourra intervenir comme maître d'oeuvre d'opérations menées entièrement sous son commandement ou en mettant des forces à la disposition du commandement des Nations Unies.

Pour faire face à leurs obligations, les forces des Nations Unies doivent pouvoir se déployer rapidement et avec souplesse. L'OTAN est la seule organisation ayant la capacité de mener efficacement une opération internationale. Il est essentiel pour la paix et la stabilité du monde que cette capacité soit maintenue et améliorée. Cependant, la conduite de missions non conventionnelles, éventuellement avec des pays non-membres de l'OTAN, ne partageant pas nécessairement les mêmes vues sur la technologie, l'organisation ou les méthodes de commandement et contrôle, sera un défi permanent pour l'OTAN dans les années à venir.

Approche

Cette étude est le fruit des efforts conjoints des Panels techniques de l'AGARD et du Comité des études en vue d'applications aérospatiales (AASC). Entre 1995 et le début 1997, un groupe d'étude, composé de représentants des Panels de l'AGARD et de l'AASC, d'un directeur d'étude, d'un rapporteur et d'un directeur exécutif, a coordonné les travaux, choisi les principaux thèmes et passé en revue les résultats. Cette coopération a permis au groupe d'étude de bénéficier de la compétence des nombreux experts de réputation internationale appartenant à ces organisations. Cependant, cette démarche a également restreint le champ de l'étude aux domaines de compétence couverts par les organisations de l'AGARD.

La première étape de l'étude a consisté en une enquête "ascendante" menée par les Panels techniques de l'AGARD afin de déterminer quels seraient, selon eux, les bouleversements les plus importants en technologies aérospatiales au cours des 25 prochaines années. Après un examen du point de vue militaire par l'AASC, une liste de thèmes a été établie. Deux débats non techniques ont été coordonnés par l'AASC : "Le futur des environnements de défense" et "la Persistance des besoins militaires". Les débats sur les autres questions sélectionnées ont été coordonnés par un Panel technique spécialisé de l'AGARD, conformément au tableau 1-1.

Panel technique de l'AGARD :	Thème :
Panel de médecine aérospatiale (AMP)	Interaction homme-machine Incidences humaines des opérations prolongées
Panel conception intégrée des véhicules aérospatiaux (FVP)	La conception intégrée des aéronefs Environnements synthétiques
Panel de la dynamique des fluides (FDP)	Véhicules à très long rayon d'action Souplesse d'accès à l'espace
Panel systèmes de conduite de mission (MSP)	Gestion des missions Aéronefs tactiques sans pilote
Panel de propulsion et d'énergétique (PEP)	Missiles hypersoniques à propulsion aérobie
Panel systèmes de détection et propagation (SPP)	Guerre électronique Progrès du furtif/anti-furtivité Reconnaissance, surveillance et acquisition d'objectif en temps réel (RSTA)
Panel des structures et matériaux (SMP)	Coûts

Tableau 1-1 : Contributions des Panels par thème

L'étude comprend trois parties :

Volume 1 : Synthèse des principaux résultats et recommandations.

Volume 2 : Discussion détaillée reprenant les thèmes choisis pour l'étude, organisée de façon à faire apparaître leurs relations et leurs conséquences.

Volume 3 : Série de brefs documents techniques, sélectionnés pour leur intérêt particulier et portant la signature de leurs auteurs ou le nom du Panel technique de l'AGARD concerné.

Une liste de membres du groupe d'étude est jointe en annexe A au présent volume. La liste détaillée des personnes ayant participé ou contribué à ce travail est fournie à l'annexe A du volume 2 de la présente étude.

Des moyens technologiques aux capacités opérationnelles

Comme il a été indiqué ci-dessus, l'un des objectifs de l'étude est d'évaluer l'influence des nouvelles technologies sur l'évolution des systèmes aérospatiaux et des concepts opérationnels. Les prévisions sur les moyens technologiques sont quelque peu incertaines mais la plupart de ces incertitudes sont bien comprises. Cela n'est pas toujours le cas, en revanche, des prévisions sur les moyens opérationnels résultant des progrès technologiques, en particulier quand ces prévisions font intervenir des systèmes et des concepts opérationnels entièrement nouveaux. Les nouveaux concepts se heurtent parfois à des limites secondaires, par exemple dans les méthodes ou les principes fondamentaux, qui gênent considérablement leur mise en oeuvre. Ces facteurs sont parfois abordés dans l'étude mais des limites, non perceptibles aujourd'hui, peuvent également apparaître dans le futur.

Il est également important de reconnaître que les évaluations des concepts opérationnels sont limitées et reposent, dans une large mesure, sur une analyse qualitative. Les Panels techniques de l'AGARD sont essentiellement axés sur la technologie et ne traitent des systèmes que dans les domaines des aéronefs et des missions aériennes. Les considérations sur les systèmes sont habituellement examinées par l'AGARD dans le cadre d'études ad hoc lancées par l'AASC, généralement deux fois par an, sur des thèmes sélectionnés.

Relations avec d'autres études

Plusieurs enquêtes relatives aux nouvelles technologies militaires et à l'évaluation de leurs conséquences ont été publiées au cours des dernières années, la plus remarquable étant l'étude *New World Vistas*, élaborée par le Comité consultatif scientifique de l'armée de l'air américaine en 1995. Cette étude est d'un grand intérêt, notamment par son caractère complet et par son étendue. Bien entendu, les spécialistes ne portent pas le même jugement sur des questions plus lointaines dans l'avenir et, par conséquent, l'étude 2020 fait apparaître quelques différences de cette nature.

Ces études diffèrent de manière plus significative par leurs points de référence fondamentaux. L'optique de l'OTAN en matière de menaces militaires, d'opportunités et de recommandations est déterminée par les buts et les fonctions définis dans la Charte de l'Atlantique Nord. Ce point de vue est différent de celui de l'armée de l'air américaine.

En conséquence, cette étude traite de sujets concernant l'Alliance ou certains de ses pays membres. Cela signifie, par exemple, qu'elle n'examine pas les sujets dans une perspective mondiale. Il est dans la nature même de l'OTAN de fournir un cadre pour la mise en place d'infrastructures communes et de projets de développement conjoints. L'étude 2020 considère des activités qui peuvent être menées par l'Alliance ou par des pays membres travaillant en coopération sous couvert de l'Alliance.

2. Une vision du monde

Au début du vingtième siècle, les actions militaires relevaient surtout de guerres ouvertes ou de la répression d'insurrections. La défaite de l'adversaire était le but ultime. Aujourd'hui, des pays ou des groupes pourraient être tentés de défier l'Ouest pour d'autres motifs, au lieu de rechercher une victoire nette, des adversaires pourraient chercher à infliger des dommages politiquement intolérables de façon à promouvoir un projet de société ou atteindre des objectifs politiques. Il est communément admis que la menace d'une guerre mondiale ou nucléaire de grande ampleur au cours des prochaines décennies semble avoir diminué. En revanche, des types de conflit moins prévisibles, de portée plus limitée, pourraient se produire plus fréquemment et se prolonger.

Si le changement de perspective et ses conséquences sur la planification et la conduite des opérations militaires au cours des 25 prochaines années sont généralement acceptés, d'autres éléments de transformation concernés par cette étude sont moins bien connus et d'autres sont sujets à controverse. Quoi qu'il en soit, ils sont tous importants et l'étude montrera qu'en dépit de leur avantage net en matière de ressources techniques, organisationnelles et financières, l'OTAN et les pays de l'OTAN auront fort à faire pour acquérir la supériorité sur des adversaires qui ne respectent pas nécessairement les mêmes règles qu'eux.

Prolifération des technologies

Actuellement un grand nombre de technologies sophistiquées, qui n'auraient autrefois été accessibles qu'aux organismes militaires les plus puissants, sont disponibles dans le commerce, et pratiquement "sur étagère". La facilité d'accès à ces technologies de pointe réduit de façon dramatique l'avantage comparatif de ceux qui les ont développées. Cela est particulièrement important si l'on considère que les coûts pour infliger des dommages au moyen d'armes de précision diminuent tandis qu'il devient de plus en plus coûteux et de plus en plus difficile de se protéger contre la menace que ces armes représentent.

Par exemple, dans le cadre de conflits de faible intensité, l'objectif peut être d'infliger des dommages à des cibles de valeur par une action de grande précision et d'éviter des dommages collatéraux, en particulier sur les populations civiles. Bien que divers types d'armes "intelligentes" aient été développés pour répondre à ces besoins, leur disponibilité est actuellement limitée par leur coût élevé. Cependant, au cours de la période de 25 ans couverte par cette étude, ces technologies se répandront à mesure que leur coût d'acquisition diminuera, tandis que les coûts nécessaires pour s'en protéger devraient demeurer élevés.

Par ailleurs, le coût d'une action visant à provoquer des dommages arbitraires, à des fins politiques, (par exemple, des actions terroristes avec des moyens techniques de pointe) diminue encore plus rapidement. Des adversaires qui envisageraient de parvenir à leur fin, en causant des dommages arbitraires, disposeront d'un nombre de plus en plus élevé d'options et leurs actions seront difficiles à contrer.

Par conséquent, si l'on ne s'y oppose pas, les dommages provoqués par un ennemi disposant de moyens de qualité médiocre pourraient réduire à néant les avantages dont dispose l'Ouest avec ses technologies de pointe. Ces défis envers l'Ouest pourraient se manifester sous des formes bien différentes d'un assaut militaire frontal. Dans un combat direct, l'Ouest conserverait son avantage et continuerait de faire valoir sa suprématie. L'issue d'une confrontation moins traditionnelle serait plus incertaine.

Asymétries de conscience

Les différences entre des valeurs et des attitudes ancrées culturellement ont toujours été un facteur important des guerres. Si l'OTAN ne cesse d'ajuster sa doctrine pour tenir compte des définitions les plus restrictives du risque de perte et des dommages non intentionnels tolérables, il devient de plus en plus manifeste que cette contrainte n'est pas universellement reconnue ou pratiquée. De fait, il est raisonnable de supposer que de futurs adversaires pourraient essayer de tirer le maximum d'avantages de ces "différences de conscience", en continuant d'employer des méthodes que les pays de l'OTAN considèrent inacceptables.

Certaines différences de conscience reposent sur des règles éthiques, d'autres sur des considérations pratiques. Par exemple, malgré les coûts élevés que cela suppose, l'OTAN s'est imposée des exigences sévères en matière de sécurité de stockage et de manutention des systèmes qu'elle développe et qu'elle accepte. Certains adversaires, en revanche, pourraient être davantage intéressés par des systèmes moins coûteux immédiatement utilisables que par des systèmes de qualité dotés de critères de sécurité.

D'autres exemples de contraintes que l'Ouest estime nécessaire de s'imposer vont des considérations sur l'environnement jusqu'à l'utilisation des armes chimiques et biologiques. Bien que, dans de nombreux cas, des traités internationaux aient été signés pour reconnaître des principes de restriction, de nombreux pays n'ont pas souscrit à ces traités et, même, certains de ceux qui les ont signés ne semblent pas les prendre au sérieux.

L'OTAN se voit donc contrainte de se défendre contre des tactiques et des armes qu'elle se refuse à utiliser. Pour que ces différences de conscience ne constituent pas un avantage militaire décisif contre l'Alliance, il est de plus en plus important que l'OTAN exploite pleinement les avantages que sont ses ressources financières, ses technologies et sa capacité à s'organiser de manière efficace.

Les moteurs du changement

En examinant les conséquences possibles des nouvelles technologies, l'étude laisse entendre que les progrès les plus importants n'interviendront pas dans les domaines "classiques" de la technologie aérospatiale, tels que le développement des matériaux ou la conception des aéronefs. Ces domaines continueront d'évoluer mais les innovations les plus significatives seront stimulées par plusieurs autres tendances.

L'impulsion civile

Historiquement, le secteur militaire a ouvert la voie dans la plupart des domaines de la recherche et du développement technologiques en trouvant des solutions qui ont fini par devenir la base d'applications civiles. Même si une partie des changements les plus fondamentaux des capacités militaires résultera toujours de recherches purement militaires (notamment dans les domaines de l'électronique et de l'électro-optique), de plus en plus d'applications militaires seront fondées sur des techniques civiles existantes. Des technologies civiles "à double usage" influencent déjà des domaines tels que les technologies de l'information, les télécommunications et les concepts de la "réalité virtuelle". En résumé, certaines des techniques dont auront besoin les militaires dans le futur seront stimulées par les forces du marché civil et non par les besoins militaires.

Environnements synthétiques

Les progrès des techniques de l'information modifieront profondément l'utilisation de la simulation dans tous les aspects du développement, des essais et de la fabrication de produits commerciaux ainsi que dans la formation militaire et la prise de décision opérationnelle. Les futurs utilisateurs auront directement accès à des "environnements synthétiques" complets, disponibles en permanence, formés par l'interconnexion de simulations, de bases de données massives et de modèles. Ces environnements seront mis à jour régulièrement et automatiquement avec des données réelles et pourront réagir immédiatement aux entrées de l'utilisateur. S'il est entièrement réalisé, le concept d'environnement synthétique donnera accès, dans tous les futurs réseaux d'information, à des moyens analytiques puissants et hautement fiables.

Accès à l'espace

Au cours des 25 prochaines années, le nombre de satellites en orbite continuera d'augmenter, peut-être par dizaines de milliers. Si l'accès à l'espace restera cher (avec des frais de lancement compris entre 10 000 et 20 000 dollars par kilogramme pour des lanceurs non récupérables), son importance pour les secteurs militaires et civils justifiera la dépense. Beaucoup de réseaux de télécommunications civils sont entièrement dépendants de systèmes spatiaux. La concurrence engagée pour répondre à ce marché en pleine expansion intensifiera la course à la réduction des coûts d'exploitation spatiale.

L'Agence spatiale européenne (ESA) et la NASA, tout comme la Russie et le Japon, développent actuellement la prochaine génération de lanceurs spatiaux réutilisables. Il s'agit, avant tout, de réduire les coûts de lancement. Les estimations des réductions possibles du coût de lancement par kilogramme de charge utile varient d'un facteur de trois à dix, selon les différentes hypothèses concernant les opérations de lancement.

Les autres avantages attendus devraient être la possibilité de procéder à des lancements pratiquement à la demande et de récupérer ou réparer en orbite des satellites en panne ou vieillissants. Les militaires pourraient devenir les clients de ces agences sans engager de dépenses de développement. Ils pourraient également profiter des "démonstrateurs" technologiques en les transformant en vue d'une utilisation militaire après qu'ils aient complètement rempli leur rôle "de validité du concept". Dans un cas comme dans l'autre, pour tirer le meilleur profit de la technologie civile, les spécifications précisant les besoins militaires doivent être définies dès les premières phases du développement.

Miniaturisation

Le besoin d'augmenter les capacités mécaniques et/ou de calcul tout en réduisant la masse et le volume des systèmes subsistera. La microtechnique permettra la construction de modules légers, compacts et adaptables faisant appel à des composants microélectromécaniques et électroniques et aux nano-technologies en développement. Les applications actuellement à l'étude concernent des senseurs inertiels, des yeux électroniques, des microradars et des balles guidées. A moyen et à long terme, des matériaux et des procédés biotechnologiques, tels que des ordinateurs à base de protéines, ainsi que des capteurs à base de matériaux naturels devraient trouver des applications pratiques.

Partenariat homme-machine

D'ici à 2020, un opérateur dialoguera avec un "espace de travail électronique" jouant le rôle de partenaire. Le dialogue entre le système et l'opérateur reposera non seulement sur les données introduites par l'opérateur mais aussi sur la capacité de la machine à évaluer avec exactitude l'état physique et mental de l'opérateur. L'opérateur pourra introduire ses données au moyen de commandes vocales, de gestes ou même par de légers mouvements musculaires. La machine contrôlera l'état de l'opérateur à partir des signaux transmis par le cerveau, mesurés par électroencéphalographie, associés à d'autres paramètres biologiques. L'évaluation reposera sur les techniques de l'intelligence artificielle et sur une meilleure compréhension des relations entre l'activité électrique du cerveau et l'exécution des tâches cognitives et motrices.

Ce partenariat homme-machine réduira le nombre et l'intensité des tâches exigeant exclusivement l'intervention humaine. Il s'adaptera aux biorythmes de l'homme et rendra possible l'extension des opérations au-delà des limites actuelles. L'opérateur restera pleinement conscient de son environnement et conservera une entière autorité sur les fonctions du système.

Ce partenariat sera rendu possible par les progrès de l'évaluation de l'information, de l'intelligence artificielle, de la psychophysiologie et des modèles évolués du comportement humain.

3. Prédominance de l'information

L'un des objectifs fondamentaux de l'adéquation des technologies et des forces est de parvenir à disposer d'une vue d'ensemble plus complète d'un théâtre d'opérations à tous les niveaux de commandement et contrôle, aussi bien au cours d'une guerre intensive que d'un conflit de faible niveau.

La révolution que connaît aujourd'hui la gestion de l'information se poursuivra. La nature des domaines de la gestion de l'information et de l'informatique est telle que les mutations qui se produisent aujourd'hui accéléreront le rythme des transformations de demain. Il semble que le taux maximum de l'évolution possible ne sera pas freinée par des limites techniques mais plutôt par les limites organisationnelles qui affectent le rythme auquel les nouvelles techniques peuvent être appliquées. Néanmoins on peut prévoir que d'ici à 2020 une "sphère informationnelle" entourera les opérations militaires et notre vie de tous les jours, tout comme l'atmosphère entoure la planète.

Cette évolution accélérée ne sera pas stimulée par la recherche militaire mais plutôt par la croissance du marché civil. Des marchés internationaux, tels que les médias et les loisirs, le secteur bancaire et les investissements, le tourisme et les transports, assureront le développement à un coût intéressant d'outils et de procédures de gestion des réseaux mondiaux de télécommunications et d'information.

Ces outils et ces procédures seront à la disposition de l'OTAN et serviront de bases à des applications militaires spécialisées. Ils seront aussi à la disposition de futurs adversaires. La seule exception notable pourrait être l'accès de l'OTAN à l'espace, et ceci, à la seule condition que les pays mettent en oeuvre une politique visant à obtenir et à conserver la supériorité technologique dans les applications militaires spatiales.

Grâce aux perfectionnements attendus des moyens d'observation et de renseignement de l'Alliance, il serait plus difficile aux adversaires d'échapper à la détection et la surveillance de leurs systèmes et de leurs activités militaires. En prévision, plusieurs pays installent déjà leurs installations sensibles sous terre. On peut imaginer, par ailleurs, que certains adversaires pourraient chercher systématiquement à se protéger contre la détection en dissimulant les activités militaires au coeur des centres de population, créant ainsi des "armées urbaines" et non pas simplement des guérillas. Si ces tactiques devenaient réalité, elles changeraient la nature de la guerre de manière imprévisible.

La révolution de la gestion de l'information aura des conséquences importantes sur l'ensemble du processus de commandement et contrôle, des centres de commandement et contrôle jusqu'au niveau des plates-formes, notamment dans les domaines suivants :

- Connaissance de la situation
- Réseaux de télécommunications et d'information
- Prise de décisions
- Plans et ordres

Connaissance de la situation

Les futurs systèmes permettront l'automatisation de la surveillance de la situation (et de la fusion des informations) de milliers d'événements en quelques dizaines de minutes. Ils seront capables de surveiller et/ou de gérer les activités de plus d'un millier de cibles et d'installations par heure. Il en résultera un niveau de confiance élevé dans la connaissance de nos propres opérations, de la situation de l'ennemi, de

la situation des forces des tiers et de l'environnement (météorologie, terrain, végétation, etc.) de n'importe quel futur théâtre.

D'ici à 2020, les forces de l'OTAN seront pratiquement en mesure de détecter avec précision de nombreux types de cibles qui sont à présent indétectables, telles que des plates-formes furtives et des véhicules terrestres bien camouflés. Ces cibles peuvent être mobiles ou fixes. Grâce aux techniques de visualisation des cibles mobiles (VCM) et au repérage automatique de l'objectif (ATR), les cibles seront identifiées et localisées avec précision, même sur des terrains hostiles.

Des systèmes seront mis en place pour suivre les forces amies. On peut s'attendre à disposer de moyens automatisés de localisation et d'évaluation jusqu'au niveau du système de combat individuel (avions, chars, etc.). Cette tâche automatisée réduira considérablement la charge représentée par la demande et l'émission d'une multitude de "comptes rendus de situation" à partir de tous les niveaux de commandement. La précision inhérente à ces systèmes s'avérera précieuse pour la prévention des luttes fratricides.

Cette vision de la situation sera obtenue par l'association de perfectionnements évolutifs dans les transmissions du champ de bataille (voir plus loin dans ce chapitre) et de progrès révolutionnaires dans les domaines des senseurs et de la fusion des données.

Systèmes de détection

Les futurs systèmes de détection associeront des améliorations dans les techniques de détection, le traitement du signal et la détermination de la position, afin d'améliorer la couverture, la résolution, la discrimination des cibles et la précision de la localisation. On peut citer comme exemples :

- **Radar à synthèse d'ouverture (SAR)** pour des plates-formes aéroportées et spatiales, permettant des observations de jour comme de nuit, pratiquement par tous les temps. Les systèmes SAR sont actuellement limités par le fait que des volumes importants de données doivent être transmis, en visibilité directe, à des stations terrestres de traitement ; c'est-à-dire que la transmission ne se fait pas en temps réel. Le traitement embarqué en temps réel d'images en qualité photographique sera opérationnel d'ici à l'an 2000 et le traitement embarqué d'extraction des caractéristiques devrait être possible en 2015. Les besoins de transmission seront ainsi réduits et les informations fournies par les SAR à partir de satellites ou d'avions seront directement disponibles, même pour des unités de niveau inférieur.

Les techniques de miniaturisation devraient permettre de diviser par 100 la masse et le volume des systèmes SAR d'ici à 2020. Les SAR seront alors montés sur de petits aéronefs sans pilote (UAV) et, éventuellement, sur des projectiles. Des compromis seront trouvés entre la couverture et la résolution. Des théâtres de zones de 100 x 100 km, prises à partir de satellites, peuvent être traités en temps réel avec une résolution de 1 m. Des théâtres plus petits, pris depuis des plates-formes volant à une altitude inférieure, fourniront des résolutions de l'ordre du centimètre, permettant la classification des cibles telles que des véhicules terrestres. Les techniques SAR s'appliqueront aussi aux UHF pour permettre une pénétration limitée dans un sol sec et dans une eau peu profonde, mais avec une résolution réduite.

- **Des senseurs par radiométrie à hyperfréquences**, utilisés à partir d'avions ou de missiles, fourniront des images passives à courte distance d'objets à surface métallique, pratiquement à tout moment de la journée et par tous les temps. En raison de leurs faibles débits de données, ces senseurs pourront être aisément pris en charge par les futurs réseaux de télécommunications. Associés aux techniques de synthèse d'ouverture,

ils fourniront des images séquentielles proches de la qualité optique ("films hyperfréquences").

- Des senseurs conçus sur le principe de la **détection hyperspectrale** fonctionneront dans un grand nombre de bandes d'en deçà à au-delà du visible (entre 0,3 et 15 μm) pour balayer un théâtre ou un objet, recueillir des bits d'informations de chaque bande et fusionner les informations pour obtenir des profils précis de cibles. La couverture et les autres caractéristiques de fonctionnement seront comparables à ceux des systèmes de détection optiques et infrarouges actuels.
- D'ici à 2020, on devrait disposer d'un éventail bien plus large de senseurs. Ils couvriront une portion plus étendue du spectre électromagnétique que les senseurs actuels. La miniaturisation et l'intégration de progrès technologiques, tels que l'association de la formation numérique de faisceaux pour accroître les performances de l'antenne conformes de fuselage à balayage électronique, rendront possible l'installation d'antennes à très haute résolution sur les plates-formes extrêmement petites.

Attendu que seul un faible volume d'informations pourra être disponible sur une bande du spectre électromagnétique, la fusion des informations et leur comparaison avec d'autres sources de renseignement et d'information deviendront cruciales.

Fusion des données

Le nouveau domaine de la fusion des données augmentera notre capacité actuelle à intégrer et analyser des données et à les convertir en informations de combat utiles aux commandeurs. Aujourd'hui, l'analyse des données collectées au cours de plusieurs passages par plusieurs systèmes de détection exige toute une équipe. D'ici à 2020, ces données seront automatiquement analysées en quelques secondes, ce qui permettra de les communiquer directement aux combattants concernés, comme jugé nécessaire.

La fusion des données est l'opération consistant à traiter et à combiner des données et des informations provenant de plusieurs sources pour obtenir le niveau de précision et d'intégrité requis pour une tâche donnée. La fusion des données n'est pas un concept nouveau dans son principe. La nouveauté réside dans l'association de nouveaux types de senseurs avec des méthodes très perfectionnées pour le traitement des données reçues de ces senseurs. Utilisés ensemble, les nouveaux senseurs fourniront un enregistrement des caractéristiques physiques beaucoup plus complet d'un théâtre observé et détaillé que celui fourni par un senseur unique. Des ordinateurs rapides et de capacité élevée permettent d'appliquer les méthodes de traitement avancées requises pour combiner -ou fusionner- les données. En cas de besoin, des ordinateurs disposant d'une capacité appropriée pourront être suffisamment réduits pour tenir dans des systèmes de détection compacts, tels que les autodirecteurs de petits missiles par exemple.

La fusion des données utilise diverses méthodes mathématiques mais, généralement, plus les données sont semblables, plus les méthodes de fusion sont simples. Les données considérées comme "semblables" sont, par exemple, des images d'un même théâtre prises au même moment mais dans des bandes de fréquences différentes (des "couleurs" différentes) par le même système de détection. Des méthodes plus complexes, exigeant des traitements associatifs ou par "intelligence artificielle", seront utilisées pour fusionner des données de types différents, par exemple des données obtenues par radar, renseignement électronique et témoignages oculaires incompatibles.

De nouveaux concepts de systèmes de détection, combinant, par exemple, les données fournies par des senseurs fonctionnant sur plusieurs longueurs d'ondes, à des emplacements distincts et séparés, seront développés pour contrer ces systèmes furtifs. La fusion des données de détection

avec des données archivées, des observations antérieures par exemple, permettra aussi de détecter automatiquement des modifications pour l'évaluation des dommages.

Dans un grand nombre d'applications, la fusion des données sera utilisée pour extraire toutes les informations utiles au niveau du senseur et réduire ainsi les besoins de communications. Par exemple, si l'on a besoin uniquement de l'identification et de la localisation d'un objet -et non pas des images elles-mêmes- le volume des données à transmettre est très fortement réduit. Des techniques similaires seront utilisées pour fusionner des données au-delà du senseur.

Lors de la diffusion aux utilisateurs, les informations seront combinées en "paquets" adaptés aux besoins du destinataire. Par exemple, des données sur des rampes de missile et des radars hostiles, provenant de plusieurs senseurs, pourront être communiquées à un avion comme des menaces et d'y inclure automatiquement des zones de recouvrement avec les zones dangereuses. Les informations seraient présentées au commandant de théâtre sous forme de batterie de missiles antiaériens et au commandant de l'artillerie comme une demande de tirs de suppression immédiats dans le cadre de sa mission de "mise hors de combat interarmées des moyens de défense aérienne ennemis". Toutes ces transmissions auraient lieu simultanément, pratiquement en temps réel.

En plus de l'amélioration de notre connaissance de la situation, la fusion des données réduira les taux de fausse alarme et offrira une protection contre le brouillage et la déception. Cependant, la fusion en temps réel de données de capteurs délocalisés exigera une liaison solide à débit élevé entre eux.

Toutes les méthodes de fusion de données seront vérifiées en référence à des objets et des phénomènes *connus*. Comme les humains, les machines pourront parfois se tromper lorsqu'elles seront confrontées à des situations dépassant leurs connaissances et leur expérience. Il faudra toujours garder à l'esprit cette limitation fondamentale lorsqu'on utilisera des informations traitées et combinées automatiquement. La stratégie demeurera une partie importante de la guerre.

Réseaux de télécommunications et d'information

Les réseaux d'information seront formés de liaisons terrestres, spatiales et aéroportées. Ils relieront les centres de commandement et contrôle éloignés du champ de bataille avec les centres tactiques (de surface et aéroportés) présents physiquement sur le champ de bataille. L'OTAN sera capable de mettre en place ces réseaux rapidement et avec souplesse de façon à répondre aux besoins d'un grand nombre de conflits régionaux importants ou secondaires, ou d'opérations de maintien de la paix.

Le développement commercial des fibres optiques permet des liaisons terrestres et sous-marines de plusieurs gigaoctets par seconde. Des concepts tels que les services de diffusion globaux de théâtre (TBS) permettront à la fois le multiplexage à capacité élevée (équivalent à 100 canaux de télévision et plus) et une connectivité bidirectionnelle permettant de traiter les demandes d'un utilisateur et de lui fournir systématiquement les informations dont il pourrait avoir besoin pour accomplir sa mission.

Des concepts de TBS utilisant des aéronefs sans pilote à autonomie élevée donneront la possibilité d'améliorer le durcissement des liaisons (résistance aux contre-mesures électroniques, par exemple). Les évolutions des liaisons laser, de la commutation optique et de la modulation devraient apporter de nouvelles améliorations.

Les communications téléphoniques locales sont pratiques, robustes et relativement simples mais elles sont aussi lentes et inefficaces. Elles sont également plus vulnérables à la guerre électronique active. Cependant, on peut douter qu'un système qui éliminerait totalement la voix puisse suffire.

Les liaisons téléphoniques resteront un moyen essentiel de communication immédiate entre les commandants d'unité et leurs subordonnés. Il sera pratiquement impossible de protéger tous les stations de communications vocales contre le brouillage ; plus encore que les liaisons numériques, le trafic téléphonique devra compter sur la redondance des systèmes pour garantir les communications. Bien que le développement commercial à grande échelle des télécommunications par satellite soit en cours, les niveaux de sécurité ou de capacité de survie de ces systèmes ne sont pas élevés. La dépendance exclusive à l'égard de ces systèmes commerciaux augmenterait la vulnérabilité de l'OTAN.

La disponibilité de réseaux de télécommunications fiables, de capacité élevée, facilitera le développement d'une "infrastructure informationnelle" pour le commandement et le contrôle de l'OTAN. Cette infrastructure comprendra des bases de données d'informations générales (contenant, par exemple, des données géographiques, météorologiques et cartographiques), des centres de fusion de données, des centres de renseignement (avec des systèmes "d'intelligence artificielle" pour aider à l'interprétation des informations) et des systèmes de soutien pour les fonctions de commandement et contrôle décrites ci-dessus.

Prise de décision

L'automatisation du cycle de décision permettra aux commandants de l'OTAN de pénétrer à l'intérieur des cycles de décision et d'action de leurs adversaires.

Le temps passé à recueillir les informations sera réduit par les améliorations en matière de collecte du renseignement et d'analyse de la situation, décrites au paragraphe "Connaissance de la situation". Par ailleurs, le temps requis pour élaborer et analyser les plans d'action sera aussi réduit. Ces réductions seront possibles grâce au perfectionnement des aides à la décision et de l'accès aux informations qu'apportera l'application de la technologie des environnements synthétiques.

Lorsque la technologie des environnements synthétiques arrivera à maturité, les commandants seront en mesure de tester les différents plans d'action possibles en utilisant des simulations qui intègrent la situation en temps réel du champ de bataille actuel avec les données conservées en mémoire. La simulation obtenue comprendra des détails sur les capacités des systèmes et unités amis et ennemis ainsi que des modèles dynamiques des forces de l'adversaire et des stratégies et tactiques possibles.

D'autres améliorations venant soutenir la fonction de commandement interviendront dans le travail d'état-major plus classique. Des systèmes informatiques, faisant office "d'auxiliaires d'état-major automatisés", appliqueront des critères de filtrage et d'extraction personnalisés afin de trier automatiquement les informations les plus importantes pour les destinataires (de manière analogue aux associés de pilote en cours de développement aujourd'hui). Selon l'intention définie par le commandant, cet auxiliaire automatisé sera capable :

- d'évaluer les informations relatives à la mission et à l'environnement de la mission ;
- de rechercher et d'extraire les informations critiques ;
- de signaler au commandant les informations prioritaires et les erreurs éventuelles ;
- de surveiller la condition du commandant et de l'avertir en cas de "surcharge" ;
- d'ajuster les données entrées de façon à éviter de surmener le commandant.

Grâce à ces outils, les commandants de l'OTAN auront l'avantage sur des adversaires moins bien équipés. De meilleures informations produisent de meilleures décisions. Ces dernières doivent ensuite se traduire par des plans et des ordres de combat.

Plans et ordres

Le processus d'élaboration des plans et des ordres, qui prend actuellement plusieurs jours, se mesurera en heures, voire en minutes, d'ici à 2020.

La vitesse d'élaboration des ordres et des plans d'opérations, ainsi que le degré de confiance dans leurs détails, augmentera grâce à l'interaction des éléments suivants :

- des systèmes capables de programmer des dizaines de senseurs et de diriger des milliers d'actions par heure dans les périodes d'intensité maximale ;
- l'élaboration automatisée de plans et d'ordres ; par exemple la capacité de planifier des centaines de cibles par heure et des dizaines de cibles par minute dans les périodes d'intensité maximale ;
- des nouveaux logiciels pour les missions de surveillance, y compris l'évaluation des dommages, l'identification des cibles, etc. ;
- des évolutions futures permettant d'intensifier la coopération et l'évaluation, en temps réel, des personnels de renseignement et des personnels opérationnels grâce à des améliorations potentielles telles que des interfaces dynamiques d'affichage holographique et la prévision par modélisation de l'environnement.

L'intégration de tous ces éléments diminuera considérablement le temps nécessaire à l'élaboration et à la diffusion des plans et des ordres de combat.

Conclusions et recommandations

Les technologies des nouveaux systèmes de détection permettront la surveillance et la reconnaissance à tous les niveaux de détail et de précision temporelle exigés par les besoins militaires. Des zones de un à dix mètres seront couramment couvertes par des systèmes spatiaux à haute résolution utilisant principalement les radars à synthèse d'ouverture (SAR) performants, la détection hyperspectrale passive et le renseignement électromagnétique. Adaptés aux avions tactiques et aux petits avions sans pilote, les mêmes principes de détection permettront de couvrir des zones tactiques avec une précision de l'ordre de quelques décimètres, pratiquement par tous les temps et dans toutes les conditions de luminosité. Les forces et les activités ennemies dissimulées dans les centres urbains resteront le défi le plus difficile en matière de reconnaissance et de surveillance.

L'amélioration des performances sera obtenue grâce aux perfectionnements des divers systèmes de détection et de traitement et à la fusion des données transmises par des senseurs délocalisés géographiquement, du même type ou de types différents. La réalisation de ces améliorations exigera des efforts considérables, techniques, opérationnels et surtout organisationnels. La détermination extrêmement précise de la position, essentielle à la fusion de données à haute résolution fournies par des senseurs séparés géographiquement, est un point critique.

Les transmissions seront améliorées grâce :

- à l'utilisation accrue de services civils permettant une connectivité à haute capacité entre des installations fixes ;
- à des techniques améliorées pour répondre aux impératifs militaires, comme la sécurité et l'authentification dans les réseaux civils ;
- à de nouveaux concepts de communication tactique.

Les liaisons entre les installations fixes devraient pouvoir être obtenues à relativement bon marché pour répondre à une demande militaire prévisible. Ces techniques qui seront disponibles

permettront de satisfaire aux exigences en matière d'accroissement des capacités de transmissions. Ce service pourrait être limité au niveau des petites unités en raison de considérations de coûts et d'exploitation des transmissions tactiques sur le terrain.

La fonction de commandement pourrait être soutenue par des modèles de simulation puissants, travaillant à partir de données de situation en temps réel sur les forces amies et ennemies, les informations de base sur le terrain, les infrastructures et la météorologie et les modèles de combat. Ils permettront d'évaluer les différents plans d'action et les différentes options de l'ennemi. Le travail d'état-major nécessaire à l'élaboration de comptes rendus de situation, de plans et d'ordres pourrait être fortement automatisé afin de faciliter une diffusion rapide et réduire le niveau des personnels en Etat major. La concrétisation de ces avantages exigera des programmes à long terme prévoyant un développement et une mise en oeuvre, étape par étape, en tirant profit des réalisations civiles dans des domaines tels que les techniques de simulation et la réalité virtuelle.

L'accroissement de la capacité et les autres améliorations des transmissions permettront une grande souplesse dans l'implantation géographique des différentes fonctions de commandement et des centres de ressources d'une structure C³I intégrée. Cette souplesse facilitera, à son tour, la mise en oeuvre rapide de modifications ou d'ajouts à la structure de commandement de l'OTAN.

L'OTAN devrait :

- Soutenir la recherche sur les technologies et les systèmes de détection ; notamment les radars à synthèse d'ouverture (SAR) de pointe, la détection hyperspectrale et le renseignement électromagnétique.
- Soutenir la recherche et la vérification expérimentale relatives aux méthodes de fusion des senseurs, notamment les concepts et les aspects liés à l'interopérabilité de la fusion de données fournies par des senseurs délocalisés géographiquement, du même type ou de types différents.
- Soutenir le développement et la mise en oeuvre de systèmes de positionnement mondial (GPS) d'une précision décimétrique, destinés à aider la fusion des données de haute résolution et la détermination précise des positions des cibles (localisation).
- Réfléchir à la mise en oeuvre de ressources communes de fusion des données pour le soutien des commandements au niveau de l'OTAN.
- Soutenir la recherche et la vérification expérimentale relatives aux applications de pointe de planification et de prise de décision, notamment les techniques de simulation et de réalité virtuelle pour le soutien des commandements au niveau de l'OTAN.
- Soutenir la recherche et le développement dans le domaine des réseaux de télécommunications de pointe, en utilisant au maximum les concepts et les services civils tout en mettant en oeuvre les impératifs militaires nécessaires en matière de fiabilité de la connectivité, de chiffrement et d'authentification.
- Etudier comment des ressources de soutien C³I distribuées géographiquement -centres de fusion, installations de simulation et nouveaux réseaux de communication- pourraient être utilisées pour mettre en oeuvre une infrastructure de commandement plus souple pour l'OTAN. Cette souplesse devrait simplifier l'intégration de nouveaux pays membres et faciliter, le cas échéant, la personnalisation (dans des délais rapides, en cas de besoin) des structures de commandement pour des opérations de groupes de forces interarmées multinationales ou d'autres types d'opérations.

4. Systèmes d'armes

D'ici à 2020, les armes à énergie dirigée deviendront opérationnelles. Les autres systèmes d'armes se caractériseront par des améliorations dans :

- *la mise en oeuvre à distance : possibilité de détecter et de frapper sans exposer les forces amies aux risques d'une confrontation directe ;*
- *la précision : possibilité de frapper avec précision avec des écarts circulaires probables de quelques décimètres ;*
- *la miniaturisation : amélioration de la transportabilité avec réduction de la signature ;*
- *l'augmentation de la vitesse : réduction des délais de réaction.*

L'étude met l'accent sur cinq systèmes d'armes qui joueront des rôles décisifs dans l'aérospatial militaire au cours des 25 prochaines années :

- les armes à énergie dirigée,
- les aéronefs tactiques sans pilote,
- les aéronefs à très long rayon d'action et très longue endurance,
- les missiles hypersoniques à propulsion aérobie,
- les avions de combat pilotés.

Armes à énergie dirigée

L'utilisation des armes à énergie dirigée sera banalisée au cours des 25 prochaines années. Elles seront mises en oeuvre contre des senseurs et des matériels, et, malgré les meilleures recommandations des traités internationaux, pourraient être utilisées par des adversaires contre des êtres humains.

Il existe un grand nombre de catégories d'armes à énergie dirigée. Pour les besoins de cette étude, nous nous limiterons toutefois à deux :

- les armes à laser (des systèmes de faible énergie aux systèmes de haute énergie)
- les armes électromagnétiques.

Armes à énergie dirigée à laser

L'efficacité potentielle des lasers en tant qu'armes repose sur un "temps de vol" très court associé à un faisceau d'intensité élevée très directif. Il existe aujourd'hui de nombreux types de lasers à faible et à moyenne énergie. La plupart des programmes de développement militaires portent sur des lasers à haute énergie convenant à des applications militaires et des lasers "agiles", fonctionnant sur plusieurs longueurs d'ondes ou sur des longueurs d'onde variables, pour faire échec aux filtres protecteurs.

Le rayonnement des lasers à faible énergie peut éblouir ou aveugler de façon momentanée ou irréversible des personnes, des fenêtres ou des senseurs. Les Nations unies, dont font partie les pays membres de l'OTAN, cherchent à imposer une interdiction internationale des lasers aveuglants (Vienne, 1995-1996). Si un accord est trouvé, il conviendra malgré tout de disposer de contre mesures et de tactiques pour s'opposer à cette menace, car il ne faut pas s'attendre à ce que tous les ennemis potentiels acceptent et/ou respectent l'interdiction.

L'évolution prévisible des armes à laser au cours des 25 prochaines années est résumée dans le tableau 4-1.

Type	Effet principal	Prévisions
Faible énergie	Eblouissement	Immédiatement réalisable.
Faible et moyenne énergie	Endommagement des senseurs	Actuellement à la portée de nombreux pays ; les techniques de base existent.
Forte énergie	Endommagement des structures vulnérables	Sera réalisé.
	Attaque des missiles balistiques de théâtre (TBM) au cours de la phase d'accélération	Sera réalisé.
	Autodéfense active des avions	Sera réalisé.
	Attaque contre des installations spatiales depuis des avions ou depuis le sol	Techniquement réalisable dans 25 ans.
	Combat aérien	Probablement réalisable à partir d'avions de grandes dimensions dans 25 ans.
	Attaque aérienne contre des cibles militaires terrestres	Peu probable d'ici 25 ans.

Tableau 4-1 : Perspectives d'évolution des armes à laser au cours des 25 prochaines années

L'évolution des armes à laser aura des conséquences profondes pour l'OTAN. En fait, il y a de fortes chances qu'elles bouleversent complètement le concept de combat aérien. Ce domaine doit rester un thème prioritaire de la recherche technologique appliquée et des études sur la mise en oeuvre, les menaces et les contre-mesures.

Armes électromagnétiques

L'évolution des technologies permettra d'attaquer et de détruire des composants électroniques par des hyperfréquences de forte puissance ou des systèmes apparentés.

Pour les applications à longue portée, le point critique sera le développement d'antennes à balayage électronique dotées d'une capacité élevée de maîtrise des puissances de crête. Cette technologie sera probablement limitée à quelques pays et à des systèmes d'armes de grandes dimensions et relativement immobiles. Des applications défensives semblent plus réalistes mais l'attaque de satellites en orbite terrestre basse pourrait être possible.

Pour des portées plus courtes, des munitions à radiofréquence (RF) plus simples seront disponibles. D'ici à 2020, il sera courant de remplacer la tête militaire d'un missile ou d'un obus par un dispositif émettant une radiofréquence à puissance de crête élevée. Ces munitions seront efficaces contre des concentrations massives d'équipements électroniques critiques, des centres de commandement et contrôle par exemple. Elles pourraient être particulièrement dévastatrices contre des systèmes commerciaux ne disposant pas de durcissement intégré contre les attaques RF.

Aéronefs tactiques sans pilote

Les futurs aéronefs tactiques sans pilote (UTA) sont conçus comme une catégorie de systèmes de combat aérien dont les caractéristiques ont été adaptées pour améliorer l'efficacité de la mission plutôt que pour satisfaire aux besoins physiologiques d'un équipage. Les nouveaux systèmes élargiront l'éventail des missions des aéronefs tactiques en supprimant le risque de perte ou de capture de l'équipage tout en remplissant un grand nombre de missions plus efficacement que les aéronefs pilotés classiques. Au cours des 25 prochaines années, les UTA deviendront un élément à part entière des forces aériennes d'un grand nombre de pays.

Le concept d'UTA englobe un large éventail d'aéronefs contrôlés, récupérables et conçus pour mener l'ensemble des missions tactiques en utilisant les armes, les senseurs embarqués et les systèmes tactiques des avions classiques. On pourrait concevoir un UTA comportant différents degrés d'autonomie et commandé depuis une station terrestre, aérienne ou maritime. L'opérateur sera en mesure d'utiliser les informations transmises par des senseurs embarqués, des senseurs non embarqués et des bases de données de théâtre.

Les UTA bénéficieront des avantages inhérents aux opérations avec et sans pilote. S'agissant d'un système sans pilote, un UTA n'a rien à redouter ; il peut accomplir des missions risquées pour des pilotes et il peut être sacrifié si la situation et la valeur des objectifs tactiques concernés l'exigent. Dans le même temps, l'opérateur conserve la liberté de prendre les décisions rendues nécessaires par la situation tactique. En fonction de la mission, le contrôle exercé sur les systèmes UTA peut aller d'une commande exclusivement par l'opérateur jusqu'à l'autonomie complète de la machine.

La catégorie des véhicules UTA va de la version la plus souple à la plus puissante des aéronefs sans piloté (UAV) actuels à tout un éventail de futurs aéronefs de combat tactiques sans pilote. Il sera possible de développer des UTA pour les types de mission présentés au tableau 4-2 par ordre de complexité croissante :

Mission	Commentaires
Reconnaissance, surveillance et acquisition d'objectifs (RSTA), y compris évaluation des dommages et désignation des cibles. Guerre électronique	Elargissement des missions menées par les aéronefs sans pilote et engins téléguidés actuels.
Elimination de la défense aérienne ennemie Frappe contre des cibles fixes Interdiction ; frappe contre des cibles mobiles	Excellents résultats du fait qu'il n'y a plus à se préoccuper de la sécurité du pilote. Exige un contrôle avancé de la mission.
Défense aérienne (contre les avions et les missiles de croisière)	Capacité améliorée pour permettre des patrouilles aériennes de combat (CAP) de longue durée
Soutien aérien rapproché	Excellents résultats du fait qu'il n'y a plus à se préoccuper de la sécurité du pilote. Augmente le besoin de précision et de fiabilité du contrôle de la mission. Mission la plus complexe.

Tableau 4-2 : Caractéristiques des missions des UTA

Mais, le point peut-être le plus important, c'est qu'un UTA peut constituer une option à prix réduit comme supplément ou complément des aéronefs pilotés. Les économies les plus importantes seront réalisées sur les coûts de soutien en temps de paix car les opérateurs seront formés dans les stations de contrôle à l'aide de simulations. Des vols réels ne seront nécessaires que pour vérifier le bon fonctionnement du véhicule et des systèmes y associés. Il en résulterait au moins une diminution des deux tiers des heures de vol par rapport aux véhicules pilotés.

L'UTA lui-même semble pouvoir être construit avec succès à partir de la technologie actuellement disponible. Cependant, il reste un certain nombre de problèmes à résoudre à des coûts acceptables avant de pouvoir utiliser les UTA dans le cadre d'opérations militaires. Ces problèmes concernent la sécurité aérienne normale, la fiabilité des communications, dont les capacités sont fournies uniquement par des systèmes en visibilité directe et les interfaces complexes entre le traitement des données et l'opérateur humain du centre de contrôle.

Le coût et la complexité de ces centres de contrôle sont peut-être l'inconvénient le plus significatif de l'UTA par rapport à un avion tactique piloté. Par exemple, des UTA portant des armes, mis en oeuvre dans des missions sur de longues distances à partir de terrains d'aviation, pourraient nécessiter des procédures de communications et de contrôle très complexes. Une infrastructure commune et des procédures normalisées de mise en oeuvre des UTA représenteraient sans aucun doute pour l'OTAN une amélioration de la viabilité du concept d'UTA.

Aéronefs à très long rayon d'action et très longue endurance

Des avions ayant un rayon d'action et une capacité de chargement considérablement accrus réduiront la charge logistique du transport aérien militaire en diminuant le besoin de ravitaillement en vol et de ravitaillement au point de destination. Des dispositifs perfectionnés de manutention de la cargaison permettront de réduire la quantité de matériel de manutention nécessaire au point de livraison. Des compromis de conception permettront une très longue endurance pour des aéronefs emportant une charge utile plus faible ; par exemple, des centres de surveillance et de contrôle aéroportés et des "vaisseaux-mères" pour des aéronefs sans pilote (UAV) et des véhicules télécommandés (RPV).

Le rapport *New World Vistas*¹, du Comité consultatif scientifique de l'armée de l'air américaine, étudie les compromis de conception des avions de transport et arrive à la conclusion qu'une charge utile de 150 000 livres (68 t) livrée à 12 000 milles nautiques avec retour sans ravitaillement serait un objectif réaliste. La masse totale au décollage serait d'un million de livres (c 450 t). La réalisation de ce concept exigera cependant des progrès dans tous les domaines de la technique aéronautique, notamment la propulsion, les matériaux, l'aérodynamique ainsi que la conception et la fabrication.

Au cours des prochaines années, des systèmes expérimentaux emportant des armes à laser et à hyperfréquences seront montés sur les avions de transport existants. En l'espace de 25 ans, l'introduction d'aéronefs à rayon d'action et endurance considérablement étendus, ainsi que la réduction de la masse des armes à énergie dirigée, aboutira à des systèmes aéroportés de grande souplesse opérationnelle. Ce type d'avion conviendra aussi pour la reconnaissance et/ou la surveillance. Ce nouvel avion pourrait remplacer l'avion actuel du système aéroporté de détection et de contrôle (AWACS) comme future plate-forme de renseignement électronique (ELINT) et/ou futur porteur des systèmes interarmées de radars de surveillance et d'attaque d'objectifs (JSTARS).

¹ *New World Vistas - Air and Space Power for the 21st Century, Mobility Volume (Puissance aérienne et spatiale à l'horizon du 21ème siècle, Volume Mobilité)*

Cet avion pourrait également emporter des aéronefs ou des missiles. Il pourrait fonctionner comme un AWACS disposant de ses propres capacités offensives. Des véhicules télécommandés lancés et récupérés par un gros avion de transport, à partir d'un espace aérien ami, pourraient être utilisés pour démontrer la présence et la résolution de l'Alliance.

Le concept de porteur pourrait aussi être utilisé pour assurer le rôle air-air, notamment dans des zones d'interdiction de vol et des régions à faible trafic. Il pourrait représenter un moyen économique de protection de l'espace aérien lorsque la fréquence des interceptions est faible. Il pourrait être aussi utile au début de la phase d'intensification d'un conflit pour fournir une couverture aérienne à des forces expéditionnaires.

Des avions à longue endurance capables d'effectuer plusieurs sorties avant d'être ravitaillés ou reconditionnés augmenteront l'efficacité des ponts aériens et réduiront le besoin de bases avancées. L'utilisation de systèmes de parachutage de précision multipliera cette efficacité.

Bien que ces gros avions pourront offrir un large éventail de possibilités à l'Alliance, l'accent devra être mis sur l'auto-protection lors de leur développement. Il faut reconnaître qu'un grand nombre, sinon la plupart, de nos futurs adversaires voudront infliger le maximum de dommages psychologiques à l'Alliance sans déclencher une réaction militaire écrasante. Ce gros avion de valeur élevée, représentatif de la supériorité technologique de l'Alliance, représenterait une cible parfaite pour une attaque de ce type.

Aéronefs sans pilote et véhicules télécommandés à long rayon d'action et longue endurance

Ce type d'aéronef pourrait assurer n'importe quelle mission, depuis la reconnaissance, la surveillance et l'acquisition d'objectifs jusqu'au "micro-chasseur". Opérant depuis un avion porteur, ces aéronefs pourraient remplir plusieurs missions, y compris l'escorte de l'avion porteur. Il est tout à fait imaginable que ces véhicules puissent porter des armes, désigner la cible aux armes ou être eux-mêmes l'arme. Des versions plus avancées pourraient être entièrement commandées par un opérateur à l'intérieur de l'avion porteur. Cette combinaison d'aéronefs offrira avant tout l'avantage de permettre la surveillance permanente d'une zone sans exposer le personnel à des actions hostiles tout en conservant la capacité de réagir immédiatement à la demande.

Missiles hypersoniques à propulsion aérobie

D'ici à 2020, un missile hypersonique à propulsion aérobie capable de voler à Mach 8 (2,4 km/s) sera disponible. Ce missile pourra être sur la cible dans un délai de 10 à 15 minutes à une portée maximale de 1200 à 1500 kilomètres. Il pourra emporter un senseur de reconnaissance multispectrale et un module relais de l'information ou une tête militaire et un module de fusion pour engager des cibles bien protégées. Il sera suffisamment petit pour être lancé par un avion de type F-15 ou F-16. Son coût sera comparable à celui d'un missile de croisière actuel (entre 1 et 1,5 million de dollars l'unité).

L'élément clé d'un futur missile à vitesse élevée (entre Mach 6 et Mach 8) à propulsion aérobie utilisant des carburants hydrocarbonés stockables est le statoréacteur à combustion supersonique (SCRAMJET). Un missile hypersonique volerait trop rapidement pour pouvoir être abattu par les méthodes existantes et le développement de systèmes antimissile extrêmement performants serait nécessaire pour le mettre en danger.

Ce missile hypersonique pourrait répondre à de nombreux besoins opérationnels :

- **Défense aérienne élargie** : Un missile hypersonique à propulsion aérobie pourrait être une arme efficace contre des cibles aériennes de très grande valeur stratégique. Ces futures cibles pourraient être des systèmes JSTARS, des lasers aéroportés, des systèmes AWACS ou l'une des familles d'avions porteurs décrites précédemment.
- **Frappe contre des cibles durcies ou enterrées** : Par son énergie cinétique, un système de frappe entre Mach 6 et Mach 8 est le seul convenant pour cette mission. Compte tenu du faible écart circulaire probable (CEP) nécessaire pour les toucher, les cibles ponctuelles enterrées ou durcies exigeront des autodirecteurs en phase terminale. Les données de visée doivent être suffisamment précises pour permettre la transition de la navigation par GPS ou par un système inertiel au guidage terminal.
- **Frappe contre des cibles exigeant une réaction rapide** : Des cibles telles que des missiles balistiques tactiques (TBM), des avions, des unités terrestres en manoeuvre, l'artillerie et des navires exigent une réaction rapide. Certaines de ces cibles, notamment les TBM qui peuvent être déplacés, peuvent être situées à une distance de plusieurs centaines de miles à l'intérieur d'un territoire hostile et échapper à la détection grâce à la mobilité et aux contre-mesures. Par conséquent, les données de visée doivent être disponibles suffisamment rapidement pour que le missile puisse être tiré quelques minutes voire quelques secondes après la détection. Les données doivent être suffisamment précises pour que les armes équipées de récepteurs GPS et de systèmes de navigation inertielle (INS) puissent détruire la cible avec une probabilité élevée. Par ailleurs, des mises à jour de la visée en vol ou un autodirecteur utilisant l'identification automatique des cibles (ATR) seront nécessaires pour la détection de cibles mobiles et le guidage terminal sur ces cibles.

Même si le développement initial d'un tel système pourrait dépasser les ressources de la plupart des pays, une fois qu'ils existeront leur coût d'acquisition sera tout à fait à la portée de la majorité des futurs adversaires.

Lanceurs suborbitaux réutilisables

D'ici à 2020, il sera possible d'observer n'importe quel point de la Terre depuis les couches exo-atmosphériques dans des délais très courts (environ une heure) grâce à un véhicule d'observation suborbital réutilisable. Cette souplesse opérationnelle permettra des observations aux heures et aux endroits souhaités, indépendamment des limites orbitales et de la capacité de prévision associées à l'observation par satellite.

Un véhicule suborbital réutilisable pourrait être lancé depuis le sol ou depuis un gros avion, un Boeing 747 par exemple, et pourrait être récupéré après son atterrissage sur un terrain ami. Les principales technologies nécessaires à sa réalisation sont des matériaux et des structures légères résistant aux températures élevées et une propulsion par moteur-fusée (ou associant un moteur-fusée avec la propulsion aérobie). Ces techniques devraient être disponibles d'ici à 2010, à l'exception, peut-être, de la propulsion aérobie. Il faudra peut-être dix années supplémentaires avant que cette dernière soit appliquée à des véhicules suborbitaux entièrement réutilisables. Ces technologies pourraient résulter des efforts civils engagés en direction des lanceurs commerciaux réutilisables.

Des observations à des altitudes de 150 kilomètres seraient alors possibles sans violation de l'espace aérien des adversaires. Un véhicule suborbital réutilisable sur une trajectoire balistique exo-atmosphérique pendant la majeure partie de son vol. (Le survol exo-atmosphérique n'est pas

considéré comme un acte d'agression.) La trajectoire du véhicule ne permettrait absolument pas d'identifier la zone visée ni même la nature du véhicule.

Son écho radar sera également difficile à distinguer de celui des satellites et autres objets spatiaux. Même s'il était identifié de façon certaine, un véhicule suborbital aurait une capacité de survie excellente. La vitesse quasi-orbitale du véhicule et le délai extrêmement court (quelques minutes) disponible pour déterminer sa trajectoire avec précision, rendraient extrêmement difficile son interception en dehors de l'atmosphère.

Futurs avions de combat pilotés

Les avions de combat resteront l'élément central de la puissance aérospatiale au cours des 25 prochaines années. L'avion de combat piloté restera la principale plate-forme pour la plupart des missions (frappe, interception, reconnaissance, etc.)

Aucune puissance ou aucun groupe de puissances en dehors de l'OTAN ne peut approcher la capacité technologique de l'Alliance à réaliser une nouvelle génération d'avion de combat piloté. Nous devons conserver cette supériorité qualitative mais les défis à relever pour y parvenir sont considérables. Le principal de ces défis ne sera probablement pas les limites techniques mais plutôt la recherche des compromis indispensables entre les impératifs militaires, les priorités nationales, les intérêts industriels et les questions économiques pour parvenir à un parc d'avions de combat qui soient efficaces dans un scénario mondial et d'un coût abordable pour les pays de l'OTAN.

Un point délicat de l'efficacité opérationnelle sera la capacité de survie. Même un avion supérieur devra affronter de nouvelles menaces. Les missiles air-air longue portée, les missiles hypersoniques et les armes à laser représenteront de sérieux défis. La connaissance de la situation améliorera la capacité de survie. Les futurs avions doivent tirer pleinement parti des techniques de l'information et de contrôle en bénéficiant d'une souplesse totale -même à l'intérieur de la formation- pour faire face aux modifications de l'environnement de la mission.

L'accent devra être mis par ailleurs sur les domaines suivants : auto-protection active, armes miniaturisées, avion modulaire, cellules furtives de volume élevé, systèmes avioniques à faible coût et systèmes de guerre électronique de pointe. Le développement de missiles air-air agiles et à longue portée, de missiles air-surface à longue portée ultra-rapides, et de missiles surface-air de pointe à capacités d'interception à haute et faible altitude sera également nécessaire.

Pour obtenir le niveau maximal d'efficacité et de capacité de survie, les investissements en armement et en avion doivent être équilibrés. Pour que l'OTAN conserve l'avantage en matière de capacité de survie, les travaux de développement et d'amélioration devront être permanents. La plus grande difficulté résidera dans la maîtrise des coûts. Les stratégies en matière de maîtrise des coûts sont abordées au chapitre 6.

Conclusions et recommandations

La réalisation d'armes à énergie dirigée, en particulier d'armes à laser, devrait être l'évolution la plus importante dans le domaine aérospatial militaire au cours des 25 prochaines années. Les armes à laser atteindront de tels niveaux de maturité durant cette période qu'elles provoqueront des bouleversements fondamentaux des concepts de guerre. Des systèmes d'auto-protection par laser pour aéronef et des armes aéroportées offensives donneront un avantage déterminant à leurs possesseurs sur ceux qui n'en sont pas dotés.

L'énergie dirigée, aux fréquences radio et radar, sera utilisée au niveau tactique pour endommager les équipements électroniques. La protection ou la réduction de la vulnérabilité est possible pour

la plupart des types d'équipements et d'installations mais des solutions rentables exigent une mise en oeuvre soignée au cours de la conception de base.

Les aéronefs tactiques sans pilote (UTA) devraient devenir compétitifs pour des missions menées actuellement par des avions tactiques pilotés. La technologie de base nécessaire à la conception de l'aéronef existe déjà. Les facteurs restrictifs se trouvent au niveau du contrôle de la mission, à savoir les communications, la fusion des senseurs, l'interface opérateur-machine et les procédures de contrôle. Pour l'OTAN, une infrastructure commune et des procédures normalisées de mise en oeuvre des UTA amélioreraient ces concepts.

Le rayon d'action et la charge utile des avions de transport seront probablement multipliés par 15. Cet accroissement apportera une meilleure rentabilité et une plus grande souplesse du transport aérien et des centres de surveillance et de contrôle aéroportés ainsi que de nouveaux concepts comme les armes à laser et à hyperfréquences aéroportées. L'accroissement permettra aussi la réalisation de "vaisseaux-mères" pour les UAV et les RPV qui pourraient mener des missions rapprochées de reconnaissance et, peut-être, d'attaque.

Les missiles hypersoniques (Mach 8) à propulsion aérobie seront disponibles à des coûts unitaires comparables à ceux des missiles de croisière actuels. Ces missiles hypersoniques pourraient devenir des armes efficaces contre des aéronefs de grande valeur, des missiles balistiques tactiques et des cibles terrestres durcies.

L'OTAN devrait :

- Mener une évaluation large des technologies relatives à l'énergie dirigée et de leurs applications potentielles et réfléchir à des programmes de soutien pour le développement des applications les plus prometteuses. L'objectif devrait être de conserver la supériorité à long terme dans ce domaine de l'armement en pleine évolution.
- Mener des études sur les systèmes afin de déterminer les conséquences à long terme des armes à énergie dirigée sur la tactique et la structure des forces. Etant donné l'ampleur des bouleversements prévisibles, une compréhension rapide est nécessaire pour une action opportune.
- Elaborer des solutions perfectionnées et normalisées pour réaliser une protection plus rentable des équipements électroniques contre les effets de l'impulsion électromagnétique (IEM) et des armes à radiofréquences (RF). Il faudrait porter une attention particulière à la protection des éléments civils du commerce utilisés à l'intérieur d'équipements ou d'installations militaires.
- Evaluer les concepts d'aéronefs tactiques sans pilote, y compris la définition des missions et l'infrastructure associée, et les procédures de contrôle des missions. Les concepts considérés comme prometteurs devraient être développés dans le cadre d'un programme de coopération afin de démontrer leur faisabilité.
- Evaluer les concepts de mise en oeuvre des aéronefs sans pilote (UAV) et des véhicules téléguidés (RPV) à partir de "vaisseaux-mères". Les concepts considérés comme prometteurs devraient être développés dans le cadre d'un programme de coopération afin de démontrer leur faisabilité.
- Evaluer les concepts d'utilisation des armes hypersoniques à propulsion aérobie.
- Evaluer l'application possible des techniques civiles de lanceurs réutilisables pour le développement de véhicules d'observation suborbitaux.
- Encourager des programmes de développement d'avions tactiques pilotés d'un coût abordable en portant l'accent sur les aspects critiques du maintien de la capacité de survie de l'avion au combat en concordance avec les ressources nationales.

5. Vulnérabilités et menaces

L'OTAN et ses pays membres ne seront pas les seuls à pouvoir bénéficier de l'évolution future des technologies de pointe. La disponibilité mondiale des techniques et des compétences de ceux qui les ont développées entraînera de nouvelles menaces pour notre efficacité militaire et de nouveaux défis pour trouver la manière de protéger les civils et les militaires.

Au cours d'une guerre à grande échelle, le maintien des fonctions vitales du gouvernement, des services publics et du secteur économique est une préoccupation fondamentale. Ce maintien est indispensable pour garantir la fourniture des biens et des services essentiels à l'effort militaire et à la survie des populations civiles. La vulnérabilité de l'Alliance à cet égard ne rentre pas dans le cadre de la présente étude qui examine plutôt la nature de l'évolution des menaces et des vulnérabilités pouvant résulter des nouvelles technologies et infliger des dommages inacceptables, mêmes dans des conflits de moindre importance.

Systèmes d'information

Il est communément admis que les systèmes d'information, et notamment les grands systèmes répartis, sont vulnérables aux interférences volontaires et involontaires. De tels systèmes d'information sont désormais indispensables dans presque tous les secteurs de la société, y compris le secteur militaire. Malgré notre extrême dépendance envers ces systèmes, les catastrophes locales que nous avons vécues, à la suite de pannes, n'ont pas encore provoqué la défaillance totale des fonctions intégrées d'un quelconque gouvernement, services publics ou de l'industrie. Il existe plusieurs cas bien connus de pannes de grande ampleur de réseaux électriques mais elles étaient la conséquence d'anciennes habitudes d'électrotechniques et non de la défaillance d'un système d'information.

Compte tenu du nombre important de systèmes d'information de grande dimension en service, ces expériences semblent indiquer qu'il existe une fiabilité et une tolérance aux pannes inhérentes aux conceptions des systèmes. Elles laissent aussi supposer que le fonctionnement n'est plus nécessairement dépendant d'équipements particuliers. Par conséquent, toute évaluation de la vulnérabilité doit prendre en considération les risques qui menacent les fonctions assurées par un système plutôt que les risques pour les éléments du système.

La capacité de survie des fonctions d'un grand système d'information réparti peut être garantie par une architecture qui permette au système de réorganiser et de redistribuer ces fonctions. Par leur conception, les systèmes sont déjà redondants et peuvent se réorganiser automatiquement. Ainsi, la panne d'un élément entraîne des ajustements permettant le meilleur usage des ressources encore disponibles. Les redondances sont intégrées dans la capacité pour permettre au système de compenser automatiquement les dommages ou les pannes. Cette aptitude à se réorganiser automatiquement permet également le fonctionnement "en mode dégradé", c'est-à-dire la capacité à transférer automatiquement les ressources des tâches non prioritaires pour maintenir les fonctions vitales. L'introduction de ces méthodes et d'autres méthodes novatrices de répartition des fonctions deviendra encore plus importante dans la conception des futurs systèmes.

Pour réduire la vulnérabilité des systèmes d'information militaires, il faut donner la priorité au développement de nouvelles technologies apportant les trois éléments de protection fondamentaux ci-après :

- **Protection des éléments du système contre la destruction physique des composants électroniques par des armes à hyperfréquences de forte puissance (HPM)**

Comme il a été dit au chapitre 4, beaucoup d'armes seront disponibles pour endommager ou détruire des équipements électroniques non durcis contre un rayonnement électromagnétique puissant dans le spectre des fréquences radio. Tous les récepteurs radioélectriques, aussi bien dans des portables que dans des satellites, sont vulnérables à ces armes. Les mesures de protection doivent porter non seulement sur un choix judicieux du concept mais aussi sur les redondances au niveau du système qui seront essentielles. D'autres types d'équipements électroniques ou électriques peuvent être protégés plus facilement. Cependant, dans la plupart des cas, une protection efficace et peu coûteuse des systèmes et des composants doit être introduite dès la conception.

- **Protection de l'intégrité des informations**

Les systèmes d'information peuvent être vulnérables à de nombreuses formes "d'agression" : perturbation des systèmes d'exploitation pour provoquer des défaillances du système, vol d'informations, destruction ou falsification d'informations, introduction de fausses informations. La plupart de ces attaques sur les données résultent d'un libre accès. Les mesures de protection portent sur les techniques de chiffrement, les techniques d'autorisation d'accès destinées à vérifier l'identité de l'utilisateur et la sécurité multiniveau qui isole les informations internes en fonction de niveaux de sécurité et d'autorisation d'accès. Le défi technologique sera de trouver des solutions qui soient également acceptables du point de vue pratique. Ces solutions devraient être réalisables, à l'exception probable de celles qui fourniraient une protection efficace contre les "serveurs infidèles" et l'utilisation par l'ennemi d'équipements et de personnels capturés.

- **Protection des fonctions essentielles au bon fonctionnement du système complet**

Même si des mesures de protection sont appliquées aux installations et aux équipements individuels, les efforts pour préserver l'intégrité et le fonctionnement des systèmes d'information intégrés devraient être traités au niveau du système lors de leur conception. Ces conceptions comprendront, entre autres, des transmissions par des réseaux à réorganisation automatique des différents systèmes de transmission et de commutation, la répartition et la multiplication des bases de données, et des barrières contre les virus et autres anomalies.

Armes à laser

L'oeil humain et les capteurs électro-optiques sont sensibles à l'énergie du laser visible et peuvent être définitivement détériorés même par des lasers de faible intensité. Des lasers à faible et à moyenne énergie sont disponibles dans le commerce pour un certain nombre d'applications. Malgré les efforts en cours pour obtenir l'interdiction internationale des armes aveuglantes, la menace représentée par ces lasers, utilisés comme armes, ne peut pas être négligée. Il va de soi que la perte de la vue est déjà une menace extrêmement sérieuse pour n'importe quelle personne mais les effets des lasers contre des avions, notamment des avions ou des hélicoptères volant à basse altitude (en cours d'atterrissage) pourraient s'avérer désastreux.

Les mesures de protection contre les lasers aveuglants portent sur des filtres optiques éliminant les longueurs d'ondes des lasers les plus courants, la protection complète d'un des deux yeux ou la mise en place d'un senseur optique de secours. Même si elles sont essentielles, ces mesures ne sont pas jugées comme suffisantes contre des attaques répétées ou contre des lasers multifréquences et à fréquence variable qui seront couramment employés dans l'avenir.

Missiles à coût réduit

Plus encore, peut-être, qu'avec d'autres systèmes d'armes, le coût de la défense contre des missiles à coût réduit est bien plus élevé que le coût pour l'agresseur. Des missiles balistiques et des missiles de croisière ayant des portées de plusieurs centaines de kilomètres et équipés de têtes militaires de seulement 100 kg devraient être disponibles à des prix à la portée de la plupart des ennemis potentiels. Ces missiles bon marché, reposant sur des techniques disponibles dans le commerce, ne seront pas conformes aux exigences de l'OTAN en matière de qualité et de précision. En revanche, ils pourraient être utilisés par des adversaires pour infliger des dommages intolérables aux centres de population, aux ressources industrielles, aux centres de communication ou à d'autres cibles stratégiques.

La menace devient plus importante si ces missiles sont utilisés pour transporter des armes de destruction massive. Des études antérieures de l'OTAN ont montré qu'il sera techniquement possible de contrer ces menaces mais que cela exigera des moyens considérables, en particulier si des systèmes de détection lointaine de grande autonomie, contre une attaque surprise, deviennent indispensables. Une surveillance attentive et le renseignement seront essentiels pour détecter et suivre les situations et pour déterminer les mesures préventives nécessaires, de nature militaire ou autres.

Aéronefs sans pilote

Quand une précision élevée ne sera pas exigée (actions terroristes ou conflits de faible intensité, par exemple), une version à coût réduit d'un aéronef sans pilote pourra larguer des armes de quelques dizaines de kilogrammes sur des distances minimales de quelques dizaines de kilomètres. La défense contre ces systèmes n'a pas été étudiée dans le détail, cependant, tout comme les missiles à coût réduit, des actions préventives reposant sur la surveillance et le renseignement devraient constituer le meilleur moyen de s'opposer à cette menace.

Missiles hypersoniques

Si le coût de développement d'un missile hypersonique excédera les moyens de la plupart des pays, il n'en sera pas de même de son prix d'achat. La version la plus simple d'un missile volant entre Mach 6 et Mach 8 peut constituer une menace non négligeable comme missile surface-air ou surface-surface contre des cibles stratégiques. Il n'existe aucune contre-mesure efficace contre une telle arme une fois qu'elle est lancée.

Recommandations

L'OTAN devrait :

- Soutenir l'élaboration et l'évaluation de principes et de méthodes visant à limiter les menaces prévisibles contre les systèmes d'information militaires intégrés ; élaborer des règles de conception au niveau des systèmes qui soient applicables aux systèmes d'information de l'OTAN.
- Evaluer la menace représentée par les lasers aveuglants de faible et moyenne énergie contre les pilotes d'avions et d'hélicoptères ; étudier des mesures de protection telles que l'exploitation "cockpit opaque" (vol sans visibilité extérieure).
- Poursuivre l'évaluation des concepts de défense aérienne étendue contre les missiles balistiques et les missiles de croisière ; l'étendre aux missiles hypersoniques ; évaluer les menaces représentées par les aéronefs sans pilote et les véhicules télécommandés emportant des armes.

6. Coût de possession acceptable

La production et l'approvisionnement militaires adoptent progressivement les principes qui dominent la production civile : les améliorations doivent être réalisées pratiquement à coût constant. La démarche à adopter pour faire face à ce nouveau défi consiste à appliquer les pratiques industrielles civiles au développement et à la production des systèmes militaires. C'est ce qui se passera mais certains facteurs restent spécifiques au domaine militaire.

Depuis la fin de la seconde Guerre mondiale, les progrès technologiques réalisés dans le domaine militaire sont essentiellement axés sur l'amélioration des performances. Les perfectionnements des systèmes militaires ont pour objet de conserver la supériorité sur les adversaires potentiels et de s'opposer aux menaces éventuelles et le coût entre peu en ligne de compte. Cependant, le coût unitaire de ces améliorations a considérablement augmenté. Par opposition, dans la production civile les nouvelles technologies ne sont mises en oeuvre qu'à condition que l'amélioration des performances soit accompagnée d'un maintien ou d'une diminution des coûts. Si cela est possible (et parfois absolument nécessaire), c'est que le coût des produits civils dépend de la richesse et des préférences des consommateurs.

L'accroissement du coût des systèmes militaires n'a pas été compensé par des augmentations des budgets correspondants et, par conséquent, le nombre d'unités des systèmes principaux diminue. Jusqu'à maintenant, cela n'a pas constitué un problème majeur. Bien que leur nombre soit moins important, les systèmes plus perfectionnés ont davantage contribué, souvent bien davantage, à la puissance de l'ensemble de la force que les systèmes plus nombreux qu'ils ont remplacés.

Si la relation coût-performances-nombre reste à l'avantage de la performance maximale au niveau unitaire, deux facteurs jouent dans le sens d'une modification de la situation générale des coûts au niveau de l'ensemble de la force. D'abord le nombre des systèmes devient si petit que ces systèmes ne sont plus nécessairement disponibles au moment et au lieu où on en a besoin. Ensuite, les pertes au combat peuvent entraîner un déclin rapide de l'ensemble de la force et de son efficacité. Ces effets sont jugés potentiellement critiques et les réductions des budgets militaires aggravent encore le problème.

Cela veut dire que les coûts d'acquisition, de propriété et d'exploitation des nouveaux systèmes ne peuvent pas être beaucoup plus élevés que ceux des systèmes qu'ils remplacent. Cela signifie aussi que la valeur des nouveaux systèmes conçus pour combattre de nouvelles menaces sera comparée à celle des systèmes traitant les priorités déjà existantes.

Pour fournir le niveau des moyens militaires minimal requis, les futurs progrès technologiques devront être réalisés par l'application de nouveaux principes au cours de leur conception et de leur fabrication. Cette nouvelle philosophie sera centrée, en particulier, sur la réduction des coûts sur la durée de vie. Les démarches suivantes méritent d'être prises en considération :

Définir le coût comme principal paramètre de conception. Le coût global de la durée de vie, notamment les coûts de développement, d'approvisionnement et d'exploitation, doit être pris entièrement en compte dès la conception. Les objectifs de performance doivent être clairement définis à un haut niveau en tenant compte de la fonction du système et non pas au niveau des caractéristiques techniques détaillées. La réalisation des objectifs de coûts et de performances seront invariablement le résultat d'un grand nombre de décisions concernant l'ensemble de la conception. Par conséquent, il est indispensable que le concept permette de trouver des compromis dans le cadre du système complet.

Introduire des nouvelles technologies uniquement quand leur coût le mérite. Les avantages tangibles -amélioration des performances et/ou de la fiabilité- ne doivent pas être acceptés s'ils impliquent des coûts supplémentaires. Les spécifications opérationnelles devraient être limitées aux besoins réels et l'élaboration des spécifications ne devrait pas être acceptée sans des études

approfondies de compromis entre les coûts et les bénéfices escomptés. De plus, le cahier des charges devrait être négociable et modifiable à mesure que les coûts nécessaires pour satisfaire aux différentes spécifications sont mieux connus.

Faciliter l'intégration des systèmes et les modifications ultérieures par l'utilisation d'architectures "ouvertes". La mise en oeuvre de systèmes d'avionique modulaires intégrés "ouverts" (fondés, par exemple, sur des normes d'interface unanimement reconnues) réduira non seulement les coûts d'acquisition mais aussi les coûts sur la durée de vie puisque les évolutions seront moins coûteuses. Le développement de matériels et de logiciels de traitement automatique échangeables devrait apporter des réductions de coût supplémentaires. Ils faciliteront aussi les évolutions pendant la durée de vie du système. La mise en oeuvre de logiciels modulaires orientés objet réduira encore les coûts. Les économies les plus importantes viendront de la normalisation du développement des logiciels, par exemple des codes à structure formelle, élaborés à l'aide d'outils architecturaux de haut niveau.

Exploiter les points communs avec le marché civil. Un grand nombre des techniques de demain évolueront à partir du marché civil. Les économies dues au volume des affaires traitées et la concurrence pour les parts de marché aideront à limiter les coûts. Cette tendance devrait produire de nouvelles sources à un prix abordable que les militaires devraient se préparer à exploiter.

L'utilisation, en les adaptant aux besoins militaires, de techniques civiles et, dans de nombreux cas, de systèmes civils du commerce immédiatement disponibles offre un potentiel important de réduction des coûts mais, souvent, cette solution n'est pas aussi simple qu'il paraît. Elle a certaines implications pour l'OTAN et les pays membres qui ne doivent pas être sous-estimées ou négligées.

D'abord, on considère souvent que les coûts de développement militaire diminueront considérablement à mesure que la quantité de techniques civiles disponibles augmentera. Cependant, l'application et l'adaptation de ces techniques aux besoins militaires peuvent être une tâche difficile, requérant autant, si ce n'est davantage, de temps et d'effort, ce qui ne va pas sans un certain coût.

Ensuite, sur le marché civil la durée de vie d'un système commercial, un ordinateur portable par exemple, est imposée par la concurrence. Si pour beaucoup de consommateurs cette durée de vie est de trois à six ans, pour beaucoup de constructeurs elle est seulement de trois à six mois. Pour les militaires, en revanche, la durée de vie économique des équipements et des systèmes est beaucoup plus longue -peut-être 30 ans- car les coûts concernent l'organisation et ils sont liés à des facteurs tels que la logistique et la formation.

Étendre le concept modulaire aux familles de systèmes apparentés. Une démarche stratégique de réduction des coûts consiste à revoir la composition des parcs de systèmes apparentés. Par exemple, une flotte d'avions tactiques composée principalement d'une seule famille d'avions multirôle serait moins coûteuse à entretenir et à exploiter en raison des similitudes dans la construction, le soutien logistique et la formation. Cette famille d'avions accomplirait un large éventail de missions tactiques. Ces avions exigeraient une cellule modulaire capable de recevoir plusieurs options et variantes :

- Une version monoplace ou une version biplace, le second membre d'équipage prenant la place du carburant interne.
- Une version monoplace à décollage court et atterrissage vertical (STOVL), l'ensemble sustentateur prenant la place du second membre d'équipage.
- Un chasseur embarqué à plus grande envergure (obtenue en remplaçant uniquement les modules extérieurs des ailes).

- Des modules de voiture remplaçables pour augmenter la charge utile et permettre des missions d'interdiction à longue distance.
- Des conteneurs encastrés pour augmenter l'emport d'armes en interne, fournir du carburant supplémentaire et transporter des systèmes avioniques et des antennes supplémentaires pour des mesures de soutien électronique (ESM) et des missions de neutralisation de la défense aérienne ennemie (SEAD).

La cellule de base, ainsi que toutes les combinaisons possibles de modules conformes, pourrait être conçu pour la furtivité.

Utiliser les méthodes de l'ingénierie associée. L'ingénierie associée (équipe de production intégrée) et la fabrication virtuelle ont permis d'étendre l'utilisation de la "conception à l'écran" à tous les systèmes aérospatiaux. L'accès à la même description numérique et aux mêmes bases de données permet d'intégrer les outils de conception avec des simulations perfectionnées tant du produit que du processus de fabrication. Les modèles physiques peuvent être remplacés par des modèles numériques de pré-assemblage, éliminant ainsi la plupart des modifications après la conception et réduisant de 50 % les délais avant la mise sur le marché. Ces prototypes pré-assemblés ou "virtuels" simulent à la fois les performances et la topologie de la structure, des commandes, des systèmes, etc. Ils permettent une analyse crédible en vue de la détermination de l'absence de brouillage, des accès d'entretien et de réparations, du coût et autres facteurs. Le remplacement partiel des essais physiques, les essais de structure et en soufflerie des aéronefs par exemple, par des analyses associées à la fabrication et au traitement virtuels (simulation des procédés de fabrication pour les métaux, les polymères et autres matériaux) entraînera des économies supplémentaires.

Conclusions et recommandations

L'association des techniques militaires et civiles qui évolueront au cours des 25 prochaines années amènera des systèmes radicalement nouveaux. Des systèmes apparentés, par exemple, aux armes à laser, aux aéronefs tactiques sans pilote et à l'assistance hautement intégrée du commandement et du contrôle seront développés. La capacité de se procurer ces systèmes dépendra de la mise en oeuvre de nouvelles solutions de maîtrise des coûts.

L'OTAN devrait :

- Soutenir la coopération dans le développement et la promulgation des "meilleures pratiques" de maîtrise des coûts sur la durée de vie.
- Développer des règles analytiques et des outils de simulation pour mesurer les améliorations envisagées et les nouveaux systèmes par rapport aux besoins sur la base des performances et des coûts.
- Concentrer le soutien technologique dans les domaines qui sont les plus prometteurs pour la réduction des coûts sur la base d'un système complet et de ce qui ne peut être fourni par le marché civil.

7. Recherche technologique au sein de l'OTAN

Les recommandations présentées dans la présente étude concernant les priorités de l'OTAN en matière de recherche technologique amènent à réfléchir sur la politique à mener par l'OTAN pour appuyer ces recommandations.

Dans les premières années de l'OTAN et de l'AGARD, les technologies aérospatiales étaient dans une phase de croissance si exponentielle que pratiquement toutes les nouvelles réalisations trouvaient une application utile. En conséquence, la politique de soutien de la recherche technologique était plus axée sur l'établissement d'un environnement de recherche stimulant que sur la sélection des domaines de recherche.

Cette politique était conforme à la nature de la science. Une innovation "véritable", une idée novatrice ouvrant de nouveaux horizons, ne se programme pas et ne se prévoit pas. La prévision d'une telle innovation est le domaine de quelques rares visionnaires à qui on accorde souvent très peu de crédit. Pourtant cette recherche reste primordiale et il est toujours imprudent d'essayer de justifier les dépenses en démontrant à l'avance l'utilité de ces techniques fondamentales novatrices. Il faut du temps avant de pouvoir pleinement appréhender les conséquences d'une innovation véritable ou l'étendue de ses applications potentielles. Le laser n'est qu'un exemple parmi beaucoup d'autres à l'appui de ce fait.

Etant donné que seule une petite fraction des travaux de recherche et de développement peuvent être considérés comme véritablement novateurs, un grand nombre de décisions doivent être prises par rapport à la majeure partie des travaux de recherche consacrés aux technologies de pointe et à leurs applications. L'étendue de ces technologies et le coût de la recherche de haut niveau ont augmenté et continueront d'augmenter de façon telle qu'il est à la fois urgent et délicat de définir des priorités pour le soutien de l'OTAN.

Bien qu'il n'entre pas dans le cadre de la présente étude de formuler des recommandations relatives à l'organisation de la recherche technologique au sein de l'OTAN, certaines de ses observations mériteraient d'être prises en considération.

Observation 1 : Le rythme de l'évolution technique et les conséquences des travaux de développement varient considérablement d'un domaine à l'autre. Le soutien de l'OTAN en faveur de la recherche technologique devrait être adapté en conséquence et l'accent devrait être mis sur les secteurs de développement qui offrent à la fois le potentiel de forte croissance le plus élevé et les retombées militaires les plus importantes.

A une époque, la conception des avions répondait à ces critères. Il y a 25 ans, de 1968 à 1977, un grand nombre d'aéronefs encore en service aujourd'hui accomplissaient leurs premiers vols, notamment des modèles célèbres comme le Concorde franco-britannique, le Boeing 747, les chasseurs F-14, F-15 et F-16 de Grumman, McDonnell Douglas et General Dynamics, et la Navette spatiale de la NASA. Les versions actuelles de ces aéronefs ont été améliorées et actualisées, mais leurs concepts d'application n'ont pas changé. Il faut s'attendre à ce que certains de ces aéronefs soient encore en service, voire en production, d'ici à 2020.

Aujourd'hui, plusieurs techniques émergent. Elles répondent mieux au critère d'une croissance de développement élevée associée à une grande utilité pratique et elles méritent d'être soutenues par la recherche. La furtivité, par exemple, est une innovation importante qui devrait influencer tous les futurs projets d'avions de combat, même si elle n'est pas encore largement appliquée. De même, le développement de techniques de détection ou "anti-furtivité" pour la contrer répond aussi à ce critère. On peut citer également les exemples de l'électro-optique, de la technologie laser et des techniques d'information militaires spécialisées.

Observation 2 : Du fait du passage de la supériorité militaire à la supériorité civile dans certains domaines techniques, l'OTAN devrait soutenir la recherche dans les domaines où les progrès seront utiles à l'alliance et où il est peu probable qu'il soit possible de tirer profit d'initiatives du secteur civil.

Observation 3 : L'OTAN devrait engager des efforts systématiques pour examiner dès le début les nouveaux *concepts de système* afin de mieux comprendre leurs éventuels avantages et leurs limites opérationnels et économiques.

Cette analyse permettrait l'élaboration de recommandations pour des développements et faciliterait et stimulerait les efforts de coopération entre les pays et entre les industries. Par ailleurs, l'OTAN devrait faire une utilisation plus importante de l'analyse, de la simulation et de la démonstration de faisabilité des systèmes afin de déterminer les domaines à soutenir ainsi que le niveau de ce soutien.

Observation 4 : L'OTAN devrait organiser régulièrement un forum militaire et scientifique informel sur les solutions novatrices pour la défense du futur.

L'étude 2020 a mis en évidence une série de domaines de recherche technologique que l'OTAN doit prendre particulièrement en considération pour déterminer les futurs centres d'intérêt de son soutien. Pris individuellement ou ensemble, ils offrent des possibilités qui contribueront à renforcer la capacité de l'OTAN à assurer la sécurité de ses pays membres dans un futur impossible à prévoir.

Pour pouvoir concrétiser ces possibilités, ou seulement certaines d'entre elles, il faut affronter des défis technologiques et économiques dépassant les possibilités de la plupart des pays. Le cadre de recherche technologique de l'Alliance offre l'occasion de faire face ensemble à ces défis.

Annexe A : Membres du groupe d'étude

Directeur de l'étude :	Nils Holme Directeur général Etablissement norvégien de recherche de la défense Norvège
Rapporteur :	Hywel Davies Ministère de la défense (en retraite) Royaume-Uni
Comité des études en vue d'applications aérospatiales (AASC) :	Général de brigade Giuseppe Marani Chef d'état-major Comando 5 Forza Aerea Tattica Alleata Italie Colonel Thomas L. Allen AFSSAA/CC, The Pentagon Etats-Unis Colonel Achille Gielis Policy Requirements Division, SHAPE Belgique
Panel de médecine aérospatiale (AMP) :	Paul Vandebosch Colonel des forces aériennes belges (en retraite) Belgique Lieutenant-colonel Egil Alnaes, MD PhD Oslo Military Clinic Norvège
Panel conception intégrée des véhicules aérospatiaux (FVP) :	Horst Wünnenberg Manager of Flight Physics and Predesign Fairchild Dornier Allemagne Barry Tomlinson Département Dynamique du vol et simulation Agence d'évaluation et de recherche de la défense Royaume-Uni Luis M. B. da Costa Campos Instituto Superior Tecnico Portugal

**Panel de la dynamique des fluides
(FDP) :**

Cahit Çiray
Aeronautical Engineering Department
Université technique du Moyen-Orient
Turquie

Christian Dujarric
Bureau des futurs lanceurs
Agence spatiale européenne
France

David R. Selegan
Laboratoire Wright
Etats-Unis

**Panel systèmes de conduite de mission
(MSP) :**

Heinz Winter
Directeur
Institut für Flugführung, DLR
Allemagne

James K. Ramage
Chef de la Branche Systèmes de commande de
vol - Laboratoire Wright
Etats-Unis

**Panel de propulsion et d'énergétique
(PEP) :**

Robert E. Henderson
Directeur de programme
Division Ingénierie
Universal Technology Corporation
Etats-Unis

Don M. Rudnitski
Directeur du laboratoire moteur
Institut de recherche aérospatiale
Conseil national de la recherche du Canada
Canada

Dietmar K. Hennecke
Fachgebiet Gasturbinen und Flugantriebe
Technische Hochschule Darmstadt
Allemagne

**Panel Systèmes de détection et de
propagation (SPP) :**

F. Christophe
Département Micro-Ondes, ONERA-CERT
France

D. H. Höhn
Directeur, GFAN-FfO
Institut de recherche en optique
Allemagne

**Panel de Structures et
matériaux :(SMP)**

Richard T. Potter
Directeur commercial
Centre des matériaux structuraux
DERA Farnborough
Royaume-Uni

Otto Sensburg
Ingénieur en chef
Daimler-Benz Aerospace (DASA)
Militärflugzeuge
Allemagne

**Comité de l'information
technique :(TIC)**

R. Paul Ryan
Administrateur adjoint
Centre d'information technique sur la Défense
Etats-Unis

Heinz Häge
Streitkräfteamt/Abt. III, FIZBw
Allemagne

Administrateurs de l'AGARD :

AASC : Colonel M. Shoemaker, USAF
AMP : Major R. Poisson, CAF
FVP : Lieutenant-colonel J. Wheatley, USAR
FDP : J. Molloy, NASA
MSP : Lieutenant-colonel P. Fortabat, FAF
PEP : P. Tonn, Allemagne
SPP : Lieutenant-colonel G. Del Duca, IAF
SMP : J. Carballal, Espagne
TIC : G. Hart, OTAN

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. Recipient's Reference	2. Originator's Reference AGARD-AR-360 Vol. I(F)	3. Further Reference ISBN 92-836-2001-1	4. Security Classification of Document UNCLASSIFIED/ UNLIMITED																												
5. Originator Advisory Group for Aerospace Research and Development North Atlantic Treaty Organization 7 rue Ancelle, 92200 Neuilly-sur-Seine, France																															
6. Title Aéronautique et espace à l'horizon 2020																															
7. Presented at/sponsored by																															
8. Author(s)/Editor(s) Multiple			9. Date December 1997																												
10. Author's/Editor's Address Multiple			11. Pages 44																												
12. Distribution Statement There are no restrictions on the distribution of this document. Information about the availability of this and other AGARD unclassified publications is given on the back cover.																															
13. Keywords/Descriptors <table><tr><td>le génie aérospatial</td><td>les systèmes d'information</td></tr><tr><td>la prévision</td><td>les systèmes d'armes</td></tr><tr><td>la prolifération des armes</td><td>les armes à énergie dirigée</td></tr><tr><td>la prolifération nucléaire</td><td>les véhicules téléguidés</td></tr><tr><td>les environnements synthétiques</td><td>les véhicules sans pilote UAV</td></tr><tr><td>la miniaturisation</td><td>les avions tactiques</td></tr><tr><td>les systèmes homme-machine</td><td>la guerre tactique</td></tr><tr><td>la conception orientée facteurs humains</td><td>les véhicules hypersoniques</td></tr><tr><td>l'interface homme-ordinateur</td><td>les missiles aérobie</td></tr><tr><td>l'appréciation de la situation</td><td>les lanceurs</td></tr><tr><td>le fusionnement des données</td><td>les avions de combat</td></tr><tr><td>les réseaux de communications</td><td>l'évaluation de la menace</td></tr><tr><td>la prise de décisions</td><td>les armes laser</td></tr><tr><td></td><td>l'économie de défense</td></tr></table>				le génie aérospatial	les systèmes d'information	la prévision	les systèmes d'armes	la prolifération des armes	les armes à énergie dirigée	la prolifération nucléaire	les véhicules téléguidés	les environnements synthétiques	les véhicules sans pilote UAV	la miniaturisation	les avions tactiques	les systèmes homme-machine	la guerre tactique	la conception orientée facteurs humains	les véhicules hypersoniques	l'interface homme-ordinateur	les missiles aérobie	l'appréciation de la situation	les lanceurs	le fusionnement des données	les avions de combat	les réseaux de communications	l'évaluation de la menace	la prise de décisions	les armes laser		l'économie de défense
le génie aérospatial	les systèmes d'information																														
la prévision	les systèmes d'armes																														
la prolifération des armes	les armes à énergie dirigée																														
la prolifération nucléaire	les véhicules téléguidés																														
les environnements synthétiques	les véhicules sans pilote UAV																														
la miniaturisation	les avions tactiques																														
les systèmes homme-machine	la guerre tactique																														
la conception orientée facteurs humains	les véhicules hypersoniques																														
l'interface homme-ordinateur	les missiles aérobie																														
l'appréciation de la situation	les lanceurs																														
le fusionnement des données	les avions de combat																														
les réseaux de communications	l'évaluation de la menace																														
la prise de décisions	les armes laser																														
	l'économie de défense																														
14. Abstract <p>VOL 1, synthèse du rapport "Aéronautique et espace à l'horizon 2020" du Groupe consultatif pour la recherche et les réalisations aérospatiales de l'OTAN (AGARD). Cette étude examine les technologies aérospatiales les plus avancées actuellement sous développement ou à l'étude. Elle est centrée sur les technologies les plus prometteuses à l'heure actuelle, ainsi que sur les conséquences structurales et tactiques qu'elles auront, au niveau du théâtre des opérations et au niveau des systèmes, au cours des 25 années à venir.</p> <p>Sujets couverts : l'impact de la prolifération, l'interaction homme-machine, les environnements synthétiques, les armes à énergie dirigée, les technologies de l'information, les avions tactiques sans pilote, les lanceurs suborbitaux, les missiles hypersoniques, ainsi qu'une discussion des coûts d'acquisition acceptables.</p> <p>Les technologies sont évaluées selon deux points de vue : en tant que atouts et en tant que menaces.</p> <p>Des observations et des recommandations sont présentées.</p>																															

L'AGARD détient un stock limité de certaines de ses publications récentes. Celles-ci pourront éventuellement être obtenus sous forme de copie papier. Pour de plus amples renseignements concernant l'achat de ces ouvrages, adressez-vous à l'AGARD par lettre ou par télécopie à l'adresse indiquée ci-dessus. *Veuillez ne pas téléphoner.*

Des exemplaires supplémentaires peuvent parfois être obtenus auprès des centres de diffusion nationaux indiqués ci-dessous. Si vous souhaitez recevoir toutes les publications de l'AGARD, ou simplement celles qui concernent certains Panels, vous pouvez demander d'être inclus sur la liste d'envoi de l'un de ces centres.

Les publications de l'AGARD sont en vente auprès des agences de vente indiquées ci-dessous, sous forme de photocopie ou de microfiche. Certains originaux peuvent également être obtenus auprès de CASI.

CENTRES DE DIFFUSION NATIONAUX

ALLEMAGNE

Fachinformationszentrum Karlsruhe
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen 2

BELGIQUE

Coordonnateur AGARD-VSL
Etat-major de la Force aérienne
Quartier Reine Elisabeth
Rue d'Evere, 1140 Bruxelles

CANADA

Directeur - Gestion de l'information
(Recherche et développement) - DRDGI 3
Ministère de la Défense nationale
Ottawa, Ontario K1A 0K2

DANEMARK

Danish Defence Research Establishment
Ryvangs Allé 1
P.O. Box 2715
DK-2100 Copenhagen Ø

ESPAGNE

INTA (AGARD Publications)
Carretera de Torrejón a Ajalvir, Pk.4
28850 Torrejón de Ardoz - Madrid

ETATS-UNIS

NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
800 Elkridge Landing Road
Linthicum Heights, MD 21090-2934

FRANCE

O.N.E.R.A. (Direction)
29, Avenue de la Division Leclerc
92322 Châtillon Cedex

GRECE

Hellenic Air Force
Air War College
Scientific and Technical Library
Dekelia Air Force Base
Dekelia, Athens TGA 1010

ISLANDE

Director of Aviation
c/o Flugrad
Reykjavik

ITALIE

Aeronautica Militare
Ufficio del Delegato Nazionale all'AGARD
Aeroporto Pratica di Mare
00040 Pomezia (Roma)

LUXEMBOURG

Voir Belgique

NORVEGE

Norwegian Defence Research Establishment
Attn: Biblioteket
P.O. Box 25
N-2007 Kjeller

PAYS-BAS

Netherlands Delegation to AGARD
National Aerospace Laboratory NLR
P.O. Box 90502
1006 BM Amsterdam

PORTUGAL

Estado Maior da Força Aérea
SDFA - Centro de Documentação
Alfragide
2700 Amadora

ROYAUME-UNI

Defence Research Information Centre
Kentigern House
65 Brown Street
Glasgow G2 8EX

TURQUIE

Millî Savunma Başkanlığı (MSB)
ARGE Dairesi Başkanlığı (MSB)
06650 Bakanlıklar-Ankara

AGENCES DE VENTE

NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
800 Elkridge Landing Road
Linthicum Heights, MD 21090-2934
Etats-Unis

The British Library Document Supply Division
Boston Spa, Wetherby
West Yorkshire LS23 7BQ
Royaume-Uni

Les demandes de microfiches ou de photocopies de documents AGARD (y compris les demandes faites auprès du CASI) doivent comporter la dénomination AGARD, ainsi que le numéro de série d'AGARD (par exemple AGARD-AG-315). Des informations analogues, telles que le titre et la date de publication sont souhaitables. Veuillez noter qu'il y a lieu de spécifier AGARD-R-*nnn* et AGARD-AR-*nnn* lors de la commande des rapports AGARD et des rapports consultatifs AGARD respectivement. Des références bibliographiques complètes ainsi que des résumés des publications AGARD figurent dans les journaux suivants:

Scientific and Technical Aerospace Reports (STAR)

STAR peut être consulté en ligne au localisateur de ressources uniformes (URL) suivant:
<http://www.sti.nasa.gov/Pubs/star/Star.html>
STAR est édité par CASI dans le cadre du programme NASA d'information scientifique et technique (STI)
STI Program Office, MS 157A
NASA Langley Research Center
Hampton, Virginia 23681-0001
Etats-Unis

Government Reports Announcements & Index (GRA&I)

publié par le National Technical Information Service
Springfield
Virginia 2216
Etats-Unis
(accessible également en mode interactif dans la base de données bibliographiques en ligne du NTIS, et sur CD-ROM)



AGARD

NATO  OTAN

7 RUE ANCELLE • 92200 NEUILLY-SUR-SEINE
FRANCE

Telefax 0(1)55.61.22.99 • Telex 610 176

UNLIMITED

DISTRIBUTION OF UNCLASSIFIED

AGARD PUBLICATIONS

AGARD holds limited quantities of some of its recent publications, and these may be available for purchase in hard copy form. For more information, write or send a telefax to the address given above. *Please do not telephone.*

Further copies are sometimes available from the National Distribution Centres listed below. If you wish to receive all AGARD publications, or just those relating to one or more specific AGARD Panels, they may be willing to include you (or your organisation) in their distribution.

AGARD publications may be purchased from the Sales Agencies listed below, in photocopy or microfiche form. Original copies of some publications may be available from CASI.

NATIONAL DISTRIBUTION CENTRES

BELGIUM

Coordonnateur AGARD — VSL
Etat-major de la Force aérienne
Quartier Reine Elisabeth
Rue d'Evere, 1140 Bruxelles

CANADA

Director Research & Development
Information Management - DRDIM 3
Dept of National Defence
Ottawa, Ontario K1A 0K2

DENMARK

Danish Defence Research Establishment
Ryvangs Allé 1
P.O. Box 2715
DK-2100 Copenhagen Ø

FRANCE

O.N.E.R.A. (Direction)
29 Avenue de la Division Leclerc
92322 Châtillon Cedex

GERMANY

Fachinformationszentrum Karlsruhe
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen 2

GREECE

Hellenic Air Force
Air War College
Scientific and Technical Library
Dekelia Air Force Base
Dekelia, Athens TGA 1010

ICELAND

Director of Aviation
c/o Flugrad
Reykjavik

ITALY

Aeronautica Militare
Ufficio del Delegato Nazionale all'AGARD
Aeroporto Pratica di Mare
00040 Pomezia (Roma)

LUXEMBOURG

See Belgium

NETHERLANDS

Netherlands Delegation to AGARD
National Aerospace Laboratory, NLR
P.O. Box 90502
1006 BM Amsterdam

NORWAY

Norwegian Defence Research Establishment
Attn: Biblioteket
P.O. Box 25
N-2007 Kjeller

PORTUGAL

Estado Maior da Força Aérea
SDFA - Centro de Documentação
Alfragide
2700 Amadora

SPAIN

INTA (AGARD Publications)
Carretera de Torrejón a Ajalvir, Pk.4
28850 Torrejón de Ardoz - Madrid

TURKEY

Millî Savunma Başkanlığı (MSB)
ARGE Dairesi Başkanlığı (MSB)
06650 Bakanlıklar-Ankara

UNITED KINGDOM

Defence Research Information Centre
Kentigern House
65 Brown Street
Glasgow G2 8EX

UNITED STATES

NASA Center for AeroSpace Information (CASI)
800 Elkridge Landing Road
Linthicum Heights, MD 21090-2934

SALES AGENCIES

NASA Center for AeroSpace Information (CASI)

800 Elkridge Landing Road
Linthicum Heights, MD 21090-2934
United States

The British Library Document Supply Centre

Boston Spa, Wetherby
West Yorkshire LS23 7BQ
United Kingdom

Requests for microfiches or photocopies of AGARD documents (including requests to CASI) should include the word 'AGARD' and the AGARD serial number (for example AGARD-AG-315). Collateral information such as title and publication date is desirable. Note that AGARD Reports and Advisory Reports should be specified as AGARD-R-*nnn* and AGARD-AR-*nnn*, respectively. Full bibliographical references and abstracts of AGARD publications are given in the following journals:

Scientific and Technical Aerospace Reports (STAR)

STAR is available on-line at the following uniform resource locator:

<http://www.sti.nasa.gov/Pubs/star/Star.html>

STAR is published by CASI for the NASA Scientific and Technical Information STI Program Office, NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia 23060, United States

Government Reports Announcements & Index (GRA&I)

published by the National Technical Information Service Springfield Virginia 22161 United States

Also available online in the NTIS Bibliographic



348967++P+UL

45 Sacre-Coeur

UNLIMITED

UNLIMITED

COVERING..... CAIRS NUMBER 0087464

DRIC REPORT PROCESS ABSTRACT SHEET

SECURITY CODE: (S, C, R, OR U) DRIC ACCESSION No: P-348967

EDITION CODE: (M, B, C, A, S, N, Q or R)

REPORT NUMBER: AGARD-AR-VCL-1-F

DATE: MONTH 12 YEAR 1997

CORPORATE AUTHOR CODE: 0100500

MONITORING AGENCY CODE:

TITLE CLASSIFICATION: CAVEATS:

MONITORING AGENCY REF:

CONTRACT No: PROJ No:

OTHER REFERENCE:

No OF AUTHORS: PAGINATION: 48 No OF REFS:

DATE OF CREATION: 23/1/98 DOC RESTRICTIONS:

ABSTRACT CLASSIFICATION: RDP(B) RDP(F) PAGE

CONF / JNL DETAILS:

	DATE	INITIALS
RECORDED	4/2	DL
ABSTRACTED		
EDITED	10/2/98	PB
PROOF CHECK	12.2	SP
RECYCLE		

SUGGESTED NEW KEYTERMS

COMMENTS
English version held as P-343741.
PTO