

# La diffusion des technologies militaires: mythes et réalités

Tout le monde s'accorde de plus en plus à reconnaître que la mondialisation et les progrès dans le domaine de la communication favorisent la diffusion des capacités industrielles de défense, ce qui affaiblit la position établie des pays occidentaux. Les faits tendent toutefois à montrer que les nouvelles possibilités, notamment le cyberespionnage, s'avèrent insuffisantes pour copier et reproduire les systèmes d'armes les plus perfectionnés.

Par Andrea Gilli et Mauro Gilli

Ces vingt dernières années, plusieurs observateurs, responsables politiques et spécialistes ont averti que la mondialisation et la révolution des technologies de l'information et de la communication (TIC) étaient sur le point de transformer le paysage politique mondial. Grâce à cette évolution, les pays moins avancés sur le plan des technologies militaires seraient alors en mesure de combler leur retard plus facilement et plus rapidement qu'auparavant. Cette vision sous-tend, de façon implicite ou explicite, certains enjeux centraux de notre époque en matière de politique étrangère et de défense, tels que la diffusion des capacités industrielles de défense à travers le monde et ses répercussions sur la stabilité internationale; l'affaiblissement progressif du leadership industriel de l'Occident dans le secteur de la défense et ses conséquences sur la dissuasion conventionnelle; la modernisation militaire de la Chine, actuelle et à venir, et ses retombées en Asie de l'Est; et, de façon plus générale, le paysage politique mondial.

Dans cette analyse, nous expliquons pourquoi les pays à la traîne dans le domaine de la défense auront moins de facilité qu'on le pense à rattraper les leaders du secteur sur le plan technologique. Par le passé, des pays comme l'Allemagne impériale, le Japon impérial et l'Union soviétique de Staline ont réussi à combler leur retard technologique militaire sur les pays les plus avancés



Le premier vol du «Concordski» soviétique (Tupolev Tu-144) a eu lieu le 31 décembre 1968 – deux mois avant le Concorde français. Viktor Korotayev / Reuters

de leur époque par l'imitation, l'espionnage industriel ou l'ingénierie inverse d'innovations étrangères. Or, la complexité des technologies militaires augmente à un rythme exponentiel. Contrairement à ce que beaucoup peuvent croire, il devient donc de plus en plus difficile d'imiter les systèmes d'armes perfectionnés et de reproduire leurs performances. Cela ne signifie pas que les pays qui cherchent à développer des systèmes d'armes de pointe sont

voués à l'échec. Mais pour y arriver, ils doivent passer par un processus extrêmement exigeant, long et coûteux.

## Idées reçues sur l'imitation

Du fait des évolutions dans les domaines de l'économie de la production et des technologies de communication et de production, on a tendance à penser que les pays aux technologies militaires moins avancées ont aujourd'hui la possibilité de mettre au

point des systèmes d'armes perfectionnés en édulcorant les étapes les plus longues et les plus coûteuses. Dans cette logique, il leur serait donc plus facile et plus rapide de rattraper leur retard. Parmi les nombreuses évolutions qui auraient favorisé ce phénomène, on peut citer la mondialisation de la production et la diffusion résultante des capacités industrielles à travers le monde; l'avènement de la communication en temps réel et la propagation plus rapide des connaissances et des informations; la numérisation croissante des données et la possibilité de les voler grâce au cyberespionnage; ou encore les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO), de fabrication assistée par ordinateur (FAO) et de fabrication additive (impression 3D), qui assistent chaque étape du processus de production et permettraient ainsi de compenser le manque d'expérience ou de capacités des pays imitants.

### Une complexité croissante

La vision prédominante selon laquelle les retards technologiques sont et deviendront plus faciles à rattraper semble ignorer une évolution concomitante dans la production d'armes, à savoir l'augmentation exponentielle de la complexité des technologies militaires au cours du siècle dernier. Ce facteur a considérablement compliqué l'imitation des plateformes militaires les plus évoluées, au point de compenser l'effet facilitateur de la mondialisation et des nouvelles technologies de communication et de production.

Les systèmes d'armes actuels intègrent beaucoup plus de composants et de sous-systèmes d'un niveau de sophistication bien supérieur. Par exemple, le logiciel des avions de chasse américains est passé de 1 000 lignes de code pour le F-4 Phantom II (1958) à 1,7 million de lignes pour le F-22 Raptor (2006), puis 5,6 millions de lignes pour le F-35 Lightning II (2015). Même un taux de défaut très faible, comme celui de l'industrie aérospatiale américaine en 2000 (5,9 défauts pour 1 000 lignes de

## La complexité des technologies militaires augmente à un rythme exponentiel.

code), entraîne un nombre considérable de problèmes dont les solutions peuvent être incompatibles, ce qui requiert d'importants efforts supplémentaires, coûteux et frustrants. C'est la raison pour laquelle les logiciels sont aujourd'hui la principale source de retard et de dépassement des coûts dans les

grands projets de défense. En outre, les systèmes d'armes doivent fonctionner dans des conditions environnementales et opérationnelles extrêmement exigeantes. Les avions de chasse comme le F-35 volent à une vitesse supersonique, ce qui implique des exigences très strictes quant aux matériaux employés et à la conception de la cellule. Les chasseurs modernes comme le F-35 sont confrontés à des défis d'ordre environnemental, mais aussi opérationnel: ils sont conçus pour évoluer dans des espaces aériens hostiles où ils devront éviter d'être détectés, poursuivis et attaqués par des systèmes intégrés de défense aérienne ou des chasseurs de l'ennemi. Au vu des progrès effectués par les technologies de détection et de traitement de signaux, cela pose toute une série de nouveaux problèmes. Ainsi, des défauts mineurs dans la conception ou l'application du matériau antiradar (par exemple, si quelques vis ne sont pas parfaitement alignées dans la cellule de l'avion) suffisent à compromettre la faible observabilité au radar d'un avion «furtif».

### Le défi de l'imitation

La complexité allant croissant, le nombre et la gravité des incompatibilités et vulnérabilités qui peuvent survenir lors de la mise au point d'un système d'armes augmentent de façon exponentielle. Anticiper, détecter, déterminer, comprendre et résoudre toutes les incompatibilités et vulnérabilités possibles exige des efforts, une expérience et un temps considérables. Les pays qui tentent de copier un système d'armes étranger se heurtent donc à une quantité potentiellement infinie d'obstacles: sans les capacités industrielles et l'expérience nécessaires, ces pays ne seront peut-être même pas en mesure de déceler, définir ou cerner les problèmes qu'ils risquent de rencontrer.

D'abord, les exigences industrielles, scientifiques et technologiques pour copier des systèmes d'armes perfectionnés sont devenues extrêmement difficiles à atteindre et à maintenir. Au début du vingtième siècle, les pays européens pouvaient utiliser leur secteur commercial pour développer des systèmes d'armes de pointe. Or, ce n'est plus possible aujourd'hui. La mise au point d'armes pose des problèmes très spécifiques qui n'ont pas leur pendant dans le secteur commercial – par exemple, stocker en toute sécurité des explosifs activés par des circuits électroniques dans un navire ou un avion, ou réduire les possibilités d'être repéré par des systèmes de détection ennemis tels que des radars ou des sonars. C'est pourquoi les

équipements, les laboratoires, les installations d'essai et le personnel spécialisé sont totalement adaptés à la plateforme mise au point. Il faut, par exemple, des plages d'essai avec des radars fonctionnant à différentes fréquences et dont les couvertures se chevauchent, des laboratoires climatiques et des souffleries supersoniques, des pilotes d'essai ayant l'expérience du combat et des soudeurs familiers des sous-marins. De ce fait, les industries civiles et militaires sont aujourd'hui deux secteurs bien distincts, à tel point que même les divisions commerciales et de défense d'entreprises comme Boeing ont peu de possibilités de synergie. De plus, le fait que certains composants soient à double usage ne signifie pas que les entreprises commerciales seront en mesure de les associer correctement à des milliers d'autres composants réservés à la défense, ni que ces entreprises posséderont l'expertise requise pour assurer la compatibilité mutuelle de tous les composants ou les installations de production et d'essai nécessaires pour détecter et résoudre les vulnérabilités de la plateforme dans son ensemble.

Ensuite, il faut des années, voire souvent des décennies, pour mettre au point un système d'armes moderne. Pendant cette période, une myriade de difficultés peuvent survenir. Même des problèmes en apparence mineurs, tels que l'oxydation de joints en caoutchouc, peuvent constituer une menace fatale pour la plateforme en cours de développement. Les incompatibilités et vulnérabilités qui apparaissent lors de la mise au point d'armes sont le produit inévitable de l'intégration de composants pas encore développés et pas entièrement testés; de la conception de systèmes d'armes fonctionnant dans des conditions environnementales difficiles et jusque-là inexplorées; et de la nécessité de faire face aux progrès des contre-mesures et contre-systèmes ennemis. Pour résoudre ces problèmes, il faut souvent sortir des sentiers battus, faire beaucoup d'essais et d'erreurs et mobiliser plusieurs équipes de concepteurs, d'ingénieurs, de scientifiques et d'ouvriers spécialisés, chacun apportant son expertise. Par conséquent, une partie des connaissances découlant de ce processus est souvent tacite et ne peut se transcrire en règles et principes généraux. Cette particularité donne aux entreprises de défense une longueur d'avance sur les imitateurs potentiels.

### Réalités empiriques

La réalité du secteur de la défense n'étaye pas l'hypothèse qu'il serait plus facile qu'avant d'imiter les systèmes d'armes modernes, ni l'idée que la mondialisation et les

nouvelles technologies favoriseraient un rattrapage. Concernant le rôle prêté aux composants à double usage, prenons le cas du système de défense antimissile Aegis, l'une des technologies militaires les plus avancées de la marine américaine, déployée en 1983. Plus de 75% des composants d'Aegis sont à double usage. Pourtant, il reste inégalé dans le monde. Quand la France, l'Allemagne, l'Italie et le Royaume-Uni ont essayé de développer un système similaire dans les années 1990, il leur a fallu vingt ans pour déployer leur *système de missile anti-aérien principal* (PAAMS), après toute une série d'échecs et de problèmes.

## Il y a peu de raisons de croire que les technologies numériques ont entraîné ou entraîneront une transformation révolutionnaire.

De même, les pays ne disposent pas d'un accès suffisant aux modèles et plans étrangers pour pouvoir reproduire un système d'armes avancé. L'Union soviétique a été confrontée à ces défis dans les années 1970, lorsqu'elle a réussi à mettre la main sur les plans du Concorde, l'avion de ligne supersonique franco-britannique. La cellule du Concorde et celle de sa réplique soviétique (le Tu-144) se ressemblaient tellement que les journalistes occidentaux avaient ironiquement surnommé cette dernière le «Concordski». Mais au-delà des apparences, elle présentait des déficiences dans de nombreux domaines. En effet, l'industrie soviétique n'avait ni l'expérience ni les capacités industrielles nécessaires pour comprendre les plans et pour reproduire les processus, les matériaux et les technologies des Occidentaux. Il y a peu de raisons de croire que les technologies numériques ont entraîné ou entraîneront une transformation révolutionnaire. Par exemple, l'assistance apportée par les logiciels ne peut remplacer l'expérience, l'intuition et la compréhension des concepteurs, ingénieurs et ouvriers spécialisés, mais seulement la compléter. On l'a constaté lors de la mise au point du F/A-18 Hornet. La CAO n'a pas réussi à prévoir les problèmes d'aérodynamique du F/A-18 et n'a guère aidé à trouver une solution. C'est finalement l'expérience des ingénieurs de McDonnell Douglas et le recours intensif aux essais en soufflerie qui ont permis de lever les difficultés. De même, la CAO n'est pas une solution magique aux problèmes techniques et industriels, comme le Royaume-Uni en a fait l'expérience lors du développement de son sous-marin à propulsion nucléaire

HMS Astute. Avant de pouvoir utiliser son logiciel de CAO, l'industrie navale britannique a dû le modifier en profondeur afin de l'adapter aux exigences spécifiques des sous-marins.

L'étude de plusieurs cas de coopération en matière de défense nous conduit à la même conclusion. Grâce à cette forme de coopération, un pays moins avancé peut accéder aux modèles et plans, ainsi qu'au savoir-faire et à l'expérience d'un autre pays. Pourtant, dans ce cadre aussi, il s'est avéré beaucoup plus difficile qu'on peut le penser de traduire les informations issues du pays étranger en un système d'armes opérationnel. Le cas de l'Espagne dans le domaine des sous-marins est éloquent. Après une coopération intensive avec la France dans ce secteur, l'Espagne a décidé de développer localement son propre sous-marin. Mais

alors que le projet touchait à sa fin, les ingénieurs espagnols ont découvert un défaut de conception dans le nouveau sous-marin, le S-80: du fait d'un déséquilibre de poids, il ne pourrait pas refaire surface après immersion. Ce problème, qui est en cours de résolution, nécessite un allongement de la coque. Outre les coûts et les retards que la modification induit, l'Espagne devra agrandir son infrastructure d'amarrage, l'existante étant trop petite pour mettre en œuvre les changements requis.

Avec le recours à la CAO, il faut en plus que les employés des chantiers navals soient capables d'interpréter et de comprendre les informations produites – ce qui demande beaucoup de formation et de temps. Il y a, enfin, peu de raisons de croire que la numérisation croissante des données facilitera leur transmission. Par exemple, les données numériques normalisées n'ont ni facilité ni accéléré la communication d'informations de conception complexes entre les entreprises qui ont participé au projet Eurofighter Typhoon. En effet, il a fallu harmoniser les pratiques de travail de certaines d'entre elles, trop différentes au départ, avant de pouvoir tirer pleinement parti du passage au numérique. Dans le même ordre d'idées, la fabrication additive peut s'avérer très efficace pour produire des pièces destinées à la réparation et à l'entretien, mais pas des sous-systèmes ou des modules entiers (tels que des turboréacteurs à double flux ou des radars). Et dans ce cas, le remplacement de pièces défectueuses ou endommagées sur des systèmes d'armes très perfectionnés ne peut être assuré que par des ouvriers spécialisés et très expérimentés.

### Littérature complémentaire

Wedo Wang, **Reverse Engineering: Technology of Reinvention** (Boca Raton, FL: CRC, 2010).

Norman Friedman, **Naval Firepower: Battleship Guns and Gunnery in the Dreadnought Era** (Barnsley, UK: Seaforth, 2008).

Douglas Dalglish / Larry Schweikart, **Trident** (Carbondale, IL: Southern Illinois University Press, 1984).

Christine Anderson / Merlin Dorfman (eds.), **Aerospace Software Engineering: A Collection of Concepts** (Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1991).

Obaid Younossi et al., **Military Jet Engine Acquisition: Technology Basics and Cost-Estimating Methodology** (Santa Monica, CA: RAND, 2002).

### Le cyberespionnage chinois

Qu'en est-il du cyberespionnage? Ces dernières années, beaucoup ont craint qu'il ne modifie complètement la dynamique du capitalisme industriel. Certains sont même allés jusqu'à affirmer qu'il pourrait entraîner le plus grand transfert de richesse de l'histoire. La Chine constitue un cas d'école particulièrement intéressant. Il s'agit d'un des pays qui s'est le plus appuyé sur le cyberespionnage: selon certains, elle aurait volé quelque 50 téraoctets de données sur les avions furtifs américains et sur des sous-systèmes clés tels que les moteurs, les radars et les systèmes de navigation et de poursuite des missiles. La Chine a aussi largement recouru à l'espionnage traditionnel, notamment le recrutement d'éléments infiltrés qui travaillaient pour les entreprises de défense occidentales les plus avancées, l'achat illicite de données de propriété industrielle auprès de sociétés étrangères ou l'achat de systèmes d'armes étrangers à des fins d'ingénierie inverse. La Chine a également coopéré avec des pays étrangers tels qu'Israël et la Russie dans le cadre de programmes de production conjointe visant à renforcer ses capacités industrielles dans le domaine aérospatial et a violé certains accords de licence dans le but de produire localement des systèmes d'armes étrangers. Enfin et surtout, la Chine est, sans aucun doute, l'un des pays qui a le plus bénéficié de la mondialisation au cours des dernières décennies, avec un afflux sans précédent d'investissements étrangers directs. En conséquence, de grandes entreprises aérospatiales ont ouvert des filiales ou créé des coentreprises locales en Chine.

Malgré cela, la Chine a eu beaucoup de difficulté à imiter les avions de chasse américains de cinquième génération. Le J-20 Black Eagle chinois présente plusieurs caractéristiques à l'avant, sur les côtés et à l'arrière qui augmenteraient considérablement ses risques d'être détecté par des radars ennemis (notamment un canard à l'avant et des tuyères non blindées à l'arrière). La Chine a aussi eu du mal à mettre au point des turboréacteurs à faible taux de dilution fiables et puissants, qui offrent à la

## La Chine a eu beaucoup de difficulté à imiter les avions de chasse américains de cinquième génération.

fois une meilleure maniabilité (poussée vectorielle) et une vitesse supersonique soutenue (supercroisière). Elle a rencontré des problèmes interminables avec le moteur destiné au J-20 – y compris des explosions lors d'essais au sol. Les moteurs locaux montés par la Chine sur le J-20 se sont avérés peu fiables et pas assez puissants. De surcroît, ils n'offrent ni une grande maniabilité, ni une vitesse supersonique soutenue. Enfin, il existe de sérieux doutes quant à la capacité de la Chine à combler son retard technologique militaire sur les États-Unis dans le domaine de l'électronique. En effet, il semble que la Chine ait également rencontré des problèmes avec la partie la moins exigeante du logiciel de bord, le logiciel de commandes de vol. Par conséquent, il n'y a aucune raison de croire qu'elle s'en soit mieux sortie avec le volet le

plus complexe, celui qui permet la détection automatique à longue portée, la géolocalisation exacte et l'identification fiable des avions ennemis, ainsi que la poursuite précise et continue de la cible.

### Conclusions

Avec la montée en puissance de la Chine et le regain de la Russie, la rivalité et la compétition des grandes puissances sur le front des technologies militaires reviennent au centre du paysage politique international.

En outre, les progrès incessants ont donné naissance à des technologies potentiellement révolutionnaires dans le secteur de la défense, telles que les systèmes autonomes et sans pilote, les cybercapacités et l'informatique quantique. Ces dernières années, beaucoup ont craint que la mondialisation et les nouvelles technologies de communication et de production remodelent le secteur de la défense. En favorisant la diffusion des capacités, de l'expérience et du savoir-faire des pays occidentaux vers les pays moins développés, ces évolutions pourraient priver les premiers d'un avantage dont ils jouissent depuis la Deuxième Guerre mondiale au moins.

Dans cette analyse, nous avons montré que ce point de vue n'était pas forcément étayé par des éléments concrets. La mondialisation et les nouvelles technologies de communication permettent la transmission en temps réel d'un volume de données sans précédent. Dans le même temps, les nouvelles technologies d'information et de

production donnent accès à des calculs beaucoup plus complexes et à une fabrication plus précise. Pourtant, aucune d'entre elles ne peut se substituer aux capacités industrielles et à l'expérience nécessaires pour mettre au point des plateformes militaires évoluées. La complexité des systèmes d'armes modernes génère un nombre infini d'incompatibilités et de vulnérabilités. Pour anticiper, détecter, déterminer, comprendre et résoudre toutes les incompatibilités et vulnérabilités possibles, les pays doivent posséder des équipements, des laboratoires, des installations d'essai et du personnel spécialisé, ainsi qu'une vaste expérience du système développé et du contexte opérationnel dans lequel il sera déployé. Même si les pays peuvent apprendre des erreurs et de l'expérience des autres, la mise au point de systèmes d'armes perfectionnés restera un processus long, difficile et coûteux, surtout face aux progrès des contre-mesures et contre-systèmes.

**Dr. Andrea Gilli** est chercheur senior en affaires militaires au Collège de défense de l'OTAN à Rome, en Italie, et membre du CISAC de l'Université de Stanford. Les opinions exprimées dans cet article ne représentent pas celles de l'OTAN ni celles du Collège de défense de l'OTAN.

**Dr. Mauro Gilli** est chercheur senior en technologie militaire et en sécurité internationale au Center for Security Studies (CSS) de l'ETH de Zurich. Certaines idées exposées dans cette analyse sont développées dans leur récent article: «Why China has not caught up yet: Military-Technological Superiority and the Limits of Imitation, Reverse Engineering, and Cyber Espionage», dans: *International Security* 43/3 (hiver 2018/19).

Les analyses de politique de sécurité du CSS sont publiées par le Center for Security Studies (CSS) de l'ETH Zurich. Deux analyses paraissent chaque mois en allemand, français et anglais. Le CSS est un centre de compétence en matière de politique de sécurité suisse et internationale.

Editeurs: Christian Nünlist, Fabien Merz, Benno Zogg  
Traduction: Interserv; Relecture: Fabien Merz  
Layout et graphiques: Miriam Dahinden-Ganzoni  
ISSN: 2296-0228; DOI: 10.3929/ethz-b-000323168

Feedback et commentaires: [analysen@sipo.gess.ethz.ch](mailto:analysen@sipo.gess.ethz.ch)  
Téléchargement et abonnement: [www.css.ethz.ch/cssanalysen](http://www.css.ethz.ch/cssanalysen)

Parus précédemment:

**La présidence suisse du FCS, pilier militaire de l'OSCE** No 237  
**Le maintien de la paix en Afrique: Mali et Somalie** No 236  
**Une protection intelligente pour des villes intelligentes** No 235  
**Les politiques d'armement européennes** No 234  
**La politique de Trump au Moyen-Orient** No 233  
**Les défis du contrôle des armements nucléaires** No 232