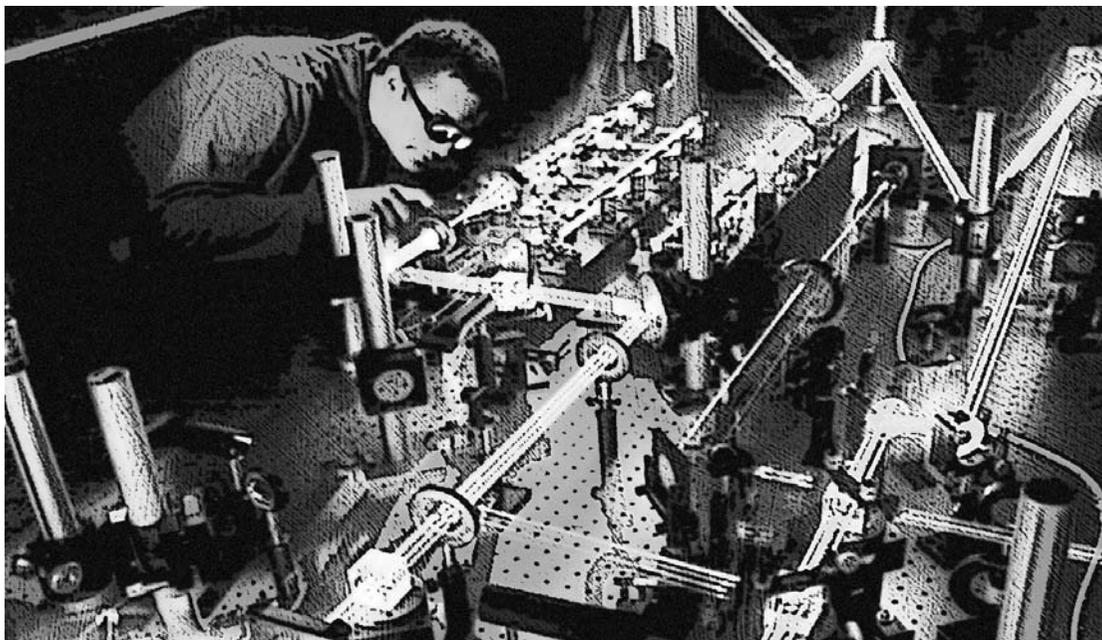


Le combattant a besoin de la science et de la technologie

PAR LE DOCTEUR J. DOUGLAS BEASON, COLONEL (C.F.), USAF*
LE DOCTEUR MARK LEWIS



Depuis le début de la deuxième guerre mondiale, nous avons assisté à l'introduction du radar, des armes à guidage de précision, des bombes atomiques, des missiles balistiques, des transistors, des semi-conducteurs, des ordinateurs, des avions à réaction, de la technologie de la furtivité, des satellites, des téléphones portables, des lasers, du système mondial de localisation (*Global Positioning System* – GPS), etc. La liste des applications scientifiques et techniques que l'on rencontre dans la guerre est stupéfiante. Chacune de ces technologies a eu

un profond impact sur la façon dont nous combattons et, ce qui est tout aussi important, sur celle dont nous maintenons nos combattants à l'abri du danger. En outre, le rythme de l'incorporation des technologies maîtresses va s'accélérant. Au cours des millénaires écoulés depuis que l'humanité a laissé des traces, les estimations qui ont été faites indiquent que le monde a connu un doublement – c.-à-d., une croissance de 100 pourcent – du savoir entre la nuit des temps et les années 50. Ce savoir, qui a doublé plusieurs fois depuis lors, a gagné le combattant. Dans de nom-

*Certains passages de cet article sont extraits de l'ouvrage du docteur Beason intitulé *DOD Science and Technology: Strategy for the Post-Cold War Era* (La science et la technologie au Secrétariat de la défense : Stratégie pour l'après-guerre froide), (Washington, DC: National Defense University Press, 1997).

breux cas, ce sont en fait les besoins de celui-ci qui en ont été le moteur.

Les guerriers d'aujourd'hui combattent avec des armes d'une technologie plus sophistiquée que par le passé. C'est la raison pour laquelle ils sont moins nombreux sur le champ de bataille. De plus, la précision accrue du combat a introduit un changement profond de la nature même des conflits nationaux : les chefs d'état ne peuvent plus mener une guerre mettant en danger la vie de leur peuple sans mettre leur propre sécurité personnelle elle aussi en danger. Les progrès technologiques réalisés en matière de combat sont devenus une arme à double tranchant, c'est-à-dire que, bien que la densité numérique des combattants (leur nombre par kilomètre carré) puisse avoir diminué au fil des ans (Fig. 1), leur puissance de feu a augmenté grâce à l'introduction d'armes d'avant-garde. On peut comprendre l'augmentation de la puissance de feu en examinant la façon dont la technologie a permis aux combattants de causer plus de dégâts à de plus grandes distances : la portée des armes fut constamment allongée, passant successivement de celle d'une lance à celles de l'arc et de la

flèche, de la balle, de l'obus d'artillerie et enfin du missile. De nouvelles technologies telles que les missiles hypersoniques, qui peuvent franchir des centaines de kilomètres en quelques minutes, ou les armes à énergie dirigée, qui peuvent engager l'ennemi à la vitesse de la lumière, nous permettent d'allonger la portée d'une arme au-delà des frontières nationales, voire même autour du monde, et ainsi de réduire encore plus la densité du personnel sur le champ de bataille.

L'accroissement de l'efficacité militaire imputable à la science et à la technologie

En 1945, J. F. C. Fuller cita le rayon d'action, la puissance de frappe, la précision de visée, le volume du feu et la mobilité comme paramètres qualitatifs caractérisant la puissance d'une arme, donnant au rayon d'action la priorité absolue.¹ Le général de brigade Simon P. Worden (c.f.), de l'armée de l'air, développa ce concept en extrayant l'efficacité militaire comme mesure de base de la puis-

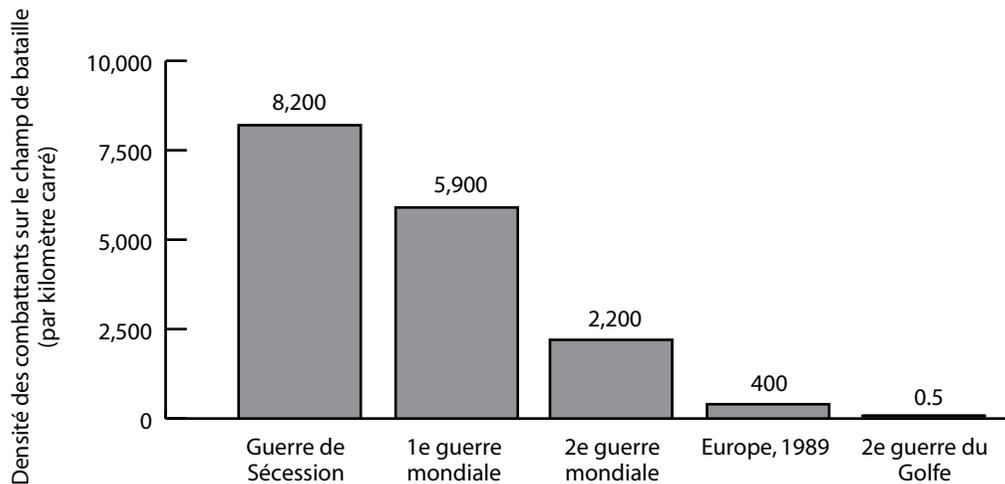


Figure 1. Densité du personnel sur le champ de bataille, basée sur des données présentées dans l'étude de Kenneth L. Adelman et Norman R. Augustine, *The Defense Revolution: Intelligent Downsizing of America's Military* (La révolution de la défense : Une réduction intelligente des effectifs militaires américains), San Francisco: *Institute for Contemporary Studies Press*, 1990, p. 55, et par Cable News Network (CNN).

Tableau 1. Efficacité des armes

<i>Epoque (année après J.-C.)</i>	<i>Arme</i>	<i>Temps^a</i>	<i>Luminance (joule/stéradian)</i>	<i>Cadence de tir (par sec.)</i>	<i>Efficacité^b (joule/stéradian/sec.)</i>
1000	flèche	6 mois	10 ⁸	10 ⁻²	10 ⁶
1500	balle	3 mois	10 ⁹	10 ⁻¹	10 ⁸
1800	artillerie	1 mois	10 ¹²	10 ⁻¹	10 ¹¹
1900	artillerie	1 semainier	10 ¹⁴	10	10 ¹⁴
1930	aéronef	1 jour	10 ¹⁹	10 ⁻¹	10 ¹⁸
1950	aéronef	1 jour	10 ²³	10 ⁻²	10 ²¹
1970	ICBM	1 heure	10 ²³	10 ⁻¹	10 ²²
2015	SBKKV ^c	1 heure	10 ²³	10	10 ²³
2020	laser	5 minutes	10 ²²	10	10 ²⁴

Source : Reproduit de l'étude de Simon P. Worden, *SDI and the Alternatives* (L'initiative de défense stratégique et les alternatives), (Washington, DC: National Defense University Press, 1991, 14.

^a Temps = la période de combat, ainsi que le temps qu'il faut pour se mettre en position pour mettre en œuvre les armes

^b Efficacité = luminance x cadence de tir

^c SBKKV = engin tueur à énergie cinétique basé dans l'espace

sance militaire d'une arme.² On peut définir l'efficacité en termes de *luminance* (un terme utilisé fréquemment par les ingénieurs spécialistes des lasers pour mesurer la capacité de ceux-ci) par unité de temps ou de mesure de la portée, de la précision et de la puissance par unité de temps d'une arme, combinées en un même chiffre (Tableau 1).

Notez la présentation de l'efficacité militaire sous une forme compacte comme chiffre exponentiel – ce qui signifie, naturellement, que les balles ont une efficacité militaire 10² ou 100 fois supérieure à celle des flèches (10⁸ divisé par 10⁶) et que les missiles balistiques intercontinentaux (ICBM) sont 10⁸ ou 100 millions de fois plus efficaces que l'artillerie en 1900 (10²² divisé par 10¹⁴). Worden présente les lasers comme dix milliards de fois plus efficaces que l'artillerie. Bien que les tactiques et la stratégie militaires aient joué un rôle dans l'accroissement de l'efficacité de ces armes, les progrès accomplis en termes d'efficacité militaire dérivèrent principalement de l'exploitation de la science et de la technologie (S et T) (Fig. 2). On remarque l'augmentation spectaculaire de cette efficacité sur une échelle logarithmique ; c'est-à-dire que l'axe vertical sur la figure fait apparaître des puissances exponentielles de 10. La valeur maximum de 25 n'est donc pas

supérieure d'un simple facteur de cinq à 20 mais de 10⁵ –soit 100 000 fois supérieure.

Quand cette augmentation de l'efficacité militaire s'arrêtera-t-elle ? Au rythme actuel, elle ne cessera pas dans un avenir prévisible, dans la mesure où la technologie présente sur le champ de bataille continue à s'étendre. Pour le combattant, cela signifie que les armes utilisées pour gagner la guerre de demain différeront autant des armes d'aujourd'hui que ces dernières diffèrent de celles utilisées pendant la deuxième guerre mondiale. Cela ne se produira toutefois que si nous continuons à investir dans la science et la technologie car les progrès dans ce domaine doivent venir de quelque part – n'oubliez pas que les armes d'aujourd'hui sont le résultat des investissements d'hier. Si nous n'investissons pas, nous livrerons la guerre de demain avec la technologie d'aujourd'hui – mais il est possible que cela ne soit pas le cas de nos adversaires. Ou, ce qui ne vaut pas mieux, le fait que nous inventons quelque chose ne signifie pas que nous serons les premiers à l'exploiter. Le pays qui inventa l'avion se retrouva obligé d'utiliser des avions construits dans d'autres pays lors de la première guerre mondiale. L'historien de l'aviation Richard Hallion a fait remarquer qu'une décennie après le premier vol des frères Wright, les avions militaires américains ne représentaient que 2,5 pourcent

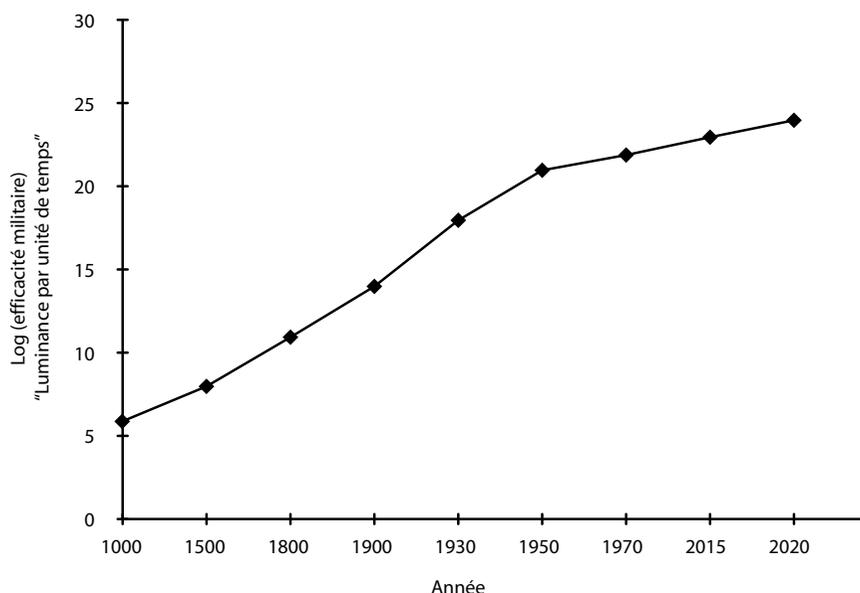


Figure 2. Efficacité militaire au fil des ans, basée sur des données présentées dans l'étude de Simon P. Worden, *SDI and the Alternatives* (L'initiative de défense stratégique et les alternatives), Washington, DC: National Defense University Press, 1991.)

du nombre total d'avions militaires alors en service dans le monde.³ Sans un programme soutenu de science et de technologie, les brillantes idées de nos chercheurs scientifiques et de nos ingénieurs dépériront ou, ce qui serait pire, tomberont peut-être dans les mains de futurs adversaires.

Si toutefois nous continuons à investir dans la science et la technologie et à exploiter les progrès accomplis dans celles-ci, le champ de bataille de demain consistera en réseaux interconnectés à l'échelle planétaire assurant la poursuite des objectifs au moyen de capteurs répartis, sophistiqués, intelligents et reconfigurables ; de micro combattants ; de plateformes aériennes / terrestres / maritimes / spatiales furtives et de systèmes d'armes à longue portée, conventionnels (non nucléaires), à haute précision d'effets et à guidage extrêmement précis (pilotés ou non) – tous reliés par ordinateurs numériques. L'histoire a montré que les progrès scientifiques et technologiques produisent des augmentations exponentielles de l'efficacité militaire – pas seulement

des augmentations de dix pourcent, voire même un doublement de l'efficacité, mais une multiplication par des facteurs vrais de plusieurs milliers de fois. Le précédent peut donc être caractérisé ainsi : les progrès scientifiques et technologiques émergeront sur le champ de bataille et changeront la nature même de la guerre. Par exemple, les autorités militaires font observer que, pendant la deuxième guerre mondiale, les avions devaient larguer 5 000 bombes environ pour détruire un seul objectif.⁴ Au Viêt-Nam, l'application de la technologie du guidage laser réduisit ce chiffre à 500 environ ; lors de la guerre d'Irak en 1991, il tomba à 15 environ grâce aux progrès de la technologie de visée de précision ; il tomba à dix puis à cinq au Kosovo et en Afghanistan. Des armes encore plus précises intervinrent lors de la deuxième guerre du Golfe en 2003, où furent atteints des rapports approchant un objectif détruit pour chaque arme larguée.

Une importante dimension humaine accompagne de tels progrès. Hallion fait également

observer que frapper une usine allemande de 18 000 mètres carrés pendant la deuxième guerre mondiale avec une chance de succès de 96 pourcent demandait un escadron de 108 bombardiers B-17 (transportant 1080 hommes et 648 bombes) et environ 100 chasseurs d'escorte monoplaces, ce qui portait la force totale à presque 1200 hommes. Quinze des bombardiers et les 150 hommes qui étaient à leur bord ne rentraient généralement pas à leur base. Nous pourrions aujourd'hui accomplir la même mission avec un seul chasseur furtif F-117 larguant deux bombes à guidage de précision ou un seul missile de croisière.⁵ De plus, un seul F-117 a jusqu'ici été abattu en combat.

Pendant les quarante cinq ans séparant la deuxième guerre mondiale de la première guerre du Golfe, l'écart moyen d'une bombe baissa de plus de 800 à 3 mètres.⁶ En outre, nous approchons rapidement de l'ultime limite d'utilisation d'une seule bombe pour détruire un seul objectif dans la mesure où les combattants subiront des restrictions quant au nombre de bombes qu'ils pourront emporter. Notre collecte de renseignement doit bien entendu

garantir que l'objectif que nous frappons est bien celui que nous voulons détruire. En outre, les progrès scientifiques et technologiques promettent aux combattants la possibilité de détruire plusieurs objectifs avec une seule arme grâce à la précision presque illimitée offerte par des armes non cinétiques telles que celles à énergie dirigée, ce qui aura pour résultat un « magasin en profondeur ». Il est clair que nous récoltons le fruit de décennies d'investissements dans les domaines de la science et de la technologie. Des systèmes d'armes allant du F-22 au laser aéroporté doivent leur existence à des années de soutien dynamique et vigoureux apporté par l'armée de l'air des Etats-Unis aux investissements dans les domaines de la science et de la technologie.

L'armée de l'air des Etats-Unis s'enorgueillit d'une tradition de soutien apporté à la science et à la technologie pour des investissements à long terme dans la technologie de combat de l'avenir. Etabli à l'origine comme une arme axée sur la technologie, le corps aérien de l'armée offrait des machines volantes. Le pays confirma le besoin d'un tel patri-



Le laser aéroporté : avion cargo 747-400 spécialement modifié, conçu pour abattre des missiles balistiques pendant leur phase de propulsion

moine de haute technologie en établissant l'armée de l'air comme arme indépendante en 1947. L'invention de la bombe atomique, de l'avion à long rayon d'action et de l'avion à réaction conduisit le général Henry H. Arnold à réaliser la dépendance cruciale de la force aérienne vis-à-vis des progrès scientifiques et technologiques. C'est la raison pour laquelle il établit, avec la collaboration du docteur Theodor von Kármán, le Groupe consultatif scientifique (aujourd'hui Comité consultatif scientifique), offrant aux scientifiques les plus réputés du pays un moyen de conseiller l'arme sur ses investissements dans les domaines de la science et de la technologie.

Le laboratoire de recherches de l'armée de l'air (*Air Force Research Laboratory* – AFRL) est aujourd'hui responsable du programme scientifique et technologique annuel de 1,2 milliard de dollars de la force aérienne, y compris de la recherche fondamentale à très long terme, des travaux préparatoires, de la recherche appliquée et des travaux expérimentaux évolués. Les plus de 6300 employés militaires et civils du laboratoire peuvent s'enorgueillir d'avoir contribué à la réalisation de percées technologiques ayant affecté tous les aéronefs, astronefs et systèmes d'armes modernes en service aujourd'hui, ainsi que de progrès significatifs accomplis dans les domaines des télécommunications, de l'électronique, de la fabrication, ainsi que de la recherche et des produits médicaux. L'AFRL abrite également le service de recherche scientifique de l'armée de l'air (*Air Force Office of Scientific Research* – AFOSR), qui finance les travaux de plus de 1000 chercheurs dans l'enseignement supérieur, l'industrie et l'administration dans tout le pays et dans le monde entier. On peut dire sans exagérer que le soutien financier et intellectuel de l'AFOSR influence la direction de la recherche fondamentale dans presque tous les domaines techniques devant avoir des applications militaires. Le dévouement des milliers de chercheurs et des chefs de projet de l'AFRL prouve qu'ils réalisent l'importance de la recherche scientifique et technologique fondamentale pour la mission de la force aérienne.

Toutefois, un danger se précise : si nous ne continuons pas à veiller au développement de

la science et de la technologie applicables à la défense, les avantages dont jouit l'armée de l'air en termes d'efficacité militaire pourraient languir – peut-être même s'évaporer. Au fur et à mesure que le financement total de la recherche scientifique et technologique diminue – à la fois en termes de dollars constants et de financement pour l'exercice exprimé sous forme de pourcentage de l'autorisation d'engagement totale de l'arme – il en sera de même de l'avantage direct en matière de potentiel militaire. Il faut bien que le financement de la recherche scientifique et technologique vienne de quelque part. Une réduction significative du niveau de la recherche-développement industrielle et des diminutions annuelles des fonds disponibles pour la recherche universitaire, combinées au serrage des ceintures dans les laboratoires nationaux et ceux de défense, mettront les futurs progrès du potentiel militaire en danger. Nos combattants ne veulent pas d'une lutte à la loyale ; ce qu'ils veulent, c'est dominer tellement un adversaire que les conflits se terminent rapidement avec un minimum de pertes – ou ne se déclenchent pas du tout. Si arrive le jour où nous ne dominons plus la bataille, nos guerriers seront obligés de combattre avec les mêmes moyens que leurs adversaires.

La technologie peut changer la guerre du jour au lendemain

A de nombreuses occasions, une nouvelle technologie introduite sur le champ de bataille a changé le cours des affaires militaires du jour au lendemain. La bataille de Crécy en 1346 vit la première apparition des arcs anglais à longue portée et grande précision sur le continent européen, avec pour résultat une défaite désastreuse pour la France et la reconnaissance du fait qu'une armure métallique n'offrirait plus jamais une protection impénétrable. Les Français réagirent bien entendu en incorporant à leurs armées des unités d'archers très adroits dans les dix ans qui suivirent, et les tactiques militaires changèrent alors pour toujours. En outre, l'histoire maritime du dix-neuvième

siècle nous donne des exemples de révolutions techniques militaires suscitées par l'innovation, l'imagination et l'effort. Lors de la guerre de Sécession, l'introduction des cuirassés transforma la guerre navale mais une autre révolution avait eu lieu plus d'un demi-siècle plus tôt. A la fin du dix-huitième siècle, la jeune marine américaine demanda que soit étudiée une nouvelle classe de navires de guerre. N'étant pas prisonniers d'une tradition séculaire de construction de ce type de navires, les architectes navals américains, sous l'impulsion d'adeptes de la pensée divergente tels que Joshua Humphreys à Philadelphie, conçurent des frégates à voiles qui étaient plus grandes, mieux armées, mieux construites et plus rapides que leurs équivalents anglais.

Ces premiers navires, y compris la frégate *USS Constitution* toujours en commission, s'imposèrent lors de tous leurs engagements pendant la première phase de la guerre de 1812. Imaginez le choc ressenti par les Britanniques lorsque leur marine de 1000 navires subit des défaites successives face à un blanc-bec colonial jouissant de la supériorité technologique. Un certain nombre de facteurs jouèrent un rôle décisif dans ce succès : des équipages volontaires bien entraînés et des conceptions novatrices développées récemment, y compris les coques à armature diagonale permettant de supporter des canons plus lourds ; des matériaux, tels que le chêne vert des marais de Caroline, d'une qualité supérieure à celle dont bénéficiaient les Britanniques ; enfin des conceptions nouvellement apparues qui permettaient de placer les canons plus haut par rapport à la ligne de flottaison et une plus grande liberté de mouvement dans l'eau pour les coques des navires. La morale de cette histoire est que l'innovation résulte souvent d'une façon nouvelle d'examiner un ancien problème – un autre avantage que nous devons à la science et la technologie.

Le meilleur usage n'est pas toujours le premier

La plupart des systèmes d'armes connaissent le même usage inattendu fait de toutes les nouvelles technologies importantes et qui laisse

bouche bée : une fois que les combattants mettent la main sur un moyen, ils proposent presque invariablement une nouvelle application, peut-être encore plus importante. L'histoire le confirme. Par exemple, personne ayant toute sa tête ne voulait d'un dispositif – tel qu'un récepteur GPS – qui indiquerait la position de quelqu'un à quelques centimètres près en quelques microsecondes. Pendant des années, les gens s'étaient parfaitement débrouillés avec les cartes de l'association automobile américaine (AAA) ou, s'ils avaient besoin d'une plus grande précision, les instruments de navigation standard telles que les boussoles.

Pour déterminer leur position, les pilotes commencèrent à utiliser l'aide à la navigation à longue distance (*Long-Range Aid to Navigation* – LORAN), qui se révéla bien utile lorsqu'ils volaient dans la brume ou les nuages ou, en particulier, au-dessus de l'eau.⁷ Même alors, personne n'avait vraiment besoin d'instruments de navigation plus précis dans la mesure où les pilotes pouvaient toujours atterrir « au pifomètre » une fois qu'ils étaient descendus en dessous de la couche de nuages. Néanmoins, des orienteurs de navigation plus sophistiqués apparurent, comme par exemple les suiveurs stellaires puis le nec plus ultra – le système de navigation à inertie (*Inertial Navigation System* – INS), basé sur la mesure précise des différences entre gyroscopes. Plus tard, l'apparition du gyroscope à laser permit de perfectionner encore plus l'INS. Pourquoi diable quelqu'un voudrait-il quelque chose de plus précis que cela ?

C'est précisément la critique qui fut adressée à quelques scientifiques particulièrement sagaces de l'armée de l'air la première fois qu'ils proposèrent le système mondial de localisation (GPS). Ils affirmèrent imperturbablement qu'une navigation précise permettrait de se débarrasser de la LORAN (le système alors le plus utilisé pour la navigation aérienne), qui était parfois sujette aux erreurs, et pourrait établir une norme pour toutes les opérations, depuis la cartographie jusqu'à la géo localisation. Beaucoup se moquèrent de l'idée : pourquoi dépenser des milliards sur un système de navigation plutôt que sur une nouvelle classe de chasseurs ? Heureusement,

le Congrès partagea l'avis des visionnaires et finança le programme. Toutefois, lorsque le GPS finit par entrer en service, ce fut un fiasco. Personne ne l'utilisa et d'ailleurs, au départ, personne n'en voulait. Après tout, pourquoi quelqu'un dépenserait-il des milliers de dollars pour acheter un récepteur GPS afin de connaître sa position à quelques centaines de mètres près (pour des raisons de sécurité, l'armée de l'air masqua l'algorithme du GPS du commerce, ce qui rendit celui-ci 10 à 100 fois moins précis que la version militaire) ? Même les forces armées ne pouvaient comprendre pourquoi elles avaient besoin de dépenser plus d'argent pour acquérir une nouvelle capacité d'une fiabilité douteuse ; après tout, l'INS fonctionnait très bien.

Vint ensuite la première guerre du Golfe – la bataille pour la libération du Koweït. Des centaines de milliers de soldats et d'aviateurs découvrirent brusquement que les cartes de l'AAA étaient inutilisables dans le désert. Pire encore, l'agence nationale d'imagerie et de cartographie (aujourd'hui l'agence nationale de renseignement géo spatial) ne disposait pas de cartes fiables de l'Irak en l'absence de points de repère reconnaissables dans des territoires de plusieurs milliers de kilomètres carrés. Avant le début de la guerre, des soldats contrariés écrivirent à leurs parents qui se précipitèrent dans les magasins de sports pour acheter des appareils GPS coûtant 1000 dollars et les envoyèrent à leurs fils et filles pour qu'ils puissent s'orienter dans le désert – et cela marcha. Tout d'un coup, tout le monde voulait ces récepteurs. Les forces armées améliorèrent le potentiel d'utilisation civile du GPS, qui connut alors une explosion. Désormais enraciné dans la société, le GPS est devenu indispensable à la navigation dans le secteur commercial.

Le fait est que personne ne savait exactement quels avantages seraient tirés d'un investissement dans le GPS et ce n'est que maintenant que nous réalisons ce qu'est le potentiel de cet investissement crucial. Les gens initialement sceptiques quant à la nouvelle technologie en redemandent aujourd'hui constamment. Cette mentalité n'est pas unique. En 1921, lorsqu'on lui rapporta l'affirmation de

Billy Mitchell selon laquelle des avions pourraient couler des cuirassés, le secrétaire d'état à la guerre Newton Baker grommela « Cette idée est tellement absurde et impossible à mettre en pratique que je suis prêt à me tenir sur la passerelle d'un cuirassé pendant que ce crétin essaye de la toucher depuis son avion ». De même en 1938, le général de division John K. Herr observa « Nous devons faire en sorte de ne pas nous porter préjudice en nous laissant convaincre par erreur que la machine non testée peut supplanter le cheval qui, lui, a largement fait ses preuves. » En 1939, le contre-amiral Clark Woodward déclara pour sa part en faisant la grimace « Pour ce qui est de couler un navire avec une bombe, c'est tout simplement impossible. »⁸

Plus récemment, certains se moquèrent même des armes à guidage de précision : « Qui aurait besoin d'être aussi précis quant un repère tracé au crayon gras sur la verrière donne de bon résultats depuis des années ? » D'autres dénigrèrent l'utilisation d'avions à système aéroporté de détection et de contrôle pour contrôler le champ de bataille aérien : « C'est ce qu'ont fait les Soviétiques, et ils ont perdu ! » De la même façon, nombreux sont ceux qui pensent que le laser aéroporté fera preuve de la même capacité de rebondissement que ces autres nouveaux systèmes nationaux et donnera aux Etats-Unis un potentiel dont nous n'avons encore aucune idée. Après tout, le fait de mettre un moyen national à potentiel très élevé entre les mains d'un combattant et de placer ce dernier dans une nouvelle situation où sa vie est en danger ne causera pas une paralysie de ce guerrier. Nous apprenons à nos combattants à faire preuve d'eux-mêmes d'idées novatrices. Les produits de la nouvelle recherche menée dans les domaines de la science et de la technologie nous donneront l'avantage qui nous permettra de vaincre.

De l'invention à l'innovation

Le temps qu'il faut pour inventer une arme jusqu'à ce que quelqu'un découvre une « application canon », c'est-à-dire une utilisation dont on ne peut se passer, est connue comme la

période qui s'écoule de l'invention à l'innovation. Par exemple, les armes de précision introduites dans les années 60 (au signalement laser lors de la guerre du Viêt-Nam) ne furent pas largement adoptées avant une période ultérieure, lorsque les organes d'information télévisèrent des scènes de bombardement dans lesquelles des missiles air-sol d'une précision incroyable s'engouffraient par les fenêtres lors de la première guerre du Golfe. Le temps s'écoulant de l'invention à l'innovation était alors d'environ 30 ans. Cette période – appelée parfois courbe en S du développement technologique (Fig. 3) s'applique à toutes les découvertes. Cela est particulièrement vrai des progrès accomplis dans les sciences fondamentales telles que la physique, la chimie, la biologie et les mathématiques appliquées. Il est rare qu'une découverte révèle ce qu'elle finira par affecter. Aujourd'hui, en fait, certains critiques continuent à se lamenter à propos de l'absence de valeur des résultats de la recherche.

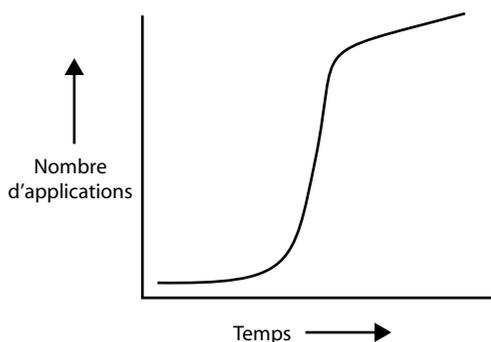


Figure 3. La courbe en S de la technologie

Examinons notre histoire récente dans le domaine des sciences fondamentales.⁹ En l'espace de quelques années aux environs de 1875, des découvertes faites depuis le dix-septième siècle – à l'issue d'un processus de gestation ayant duré presque 270 ans – commencèrent à s'introduire dans la base de technologie industrielle de l'Occident.¹⁰ Quelqu'un aurait-il aujourd'hui la patience d'attendre la mise en œuvre novatrice de quelque chose qui aurait été inventé 270 ans plus tôt ? Au cours de cette période, les sciences fondamentales préparèrent le terrain pour

l'explication des principes de base des sciences naturelles, de la chimie et de la physique. Ces développements menèrent à la création des procédures d'étude rigoureuses responsables de l'évolution rapide de la technologie. Parmi les centaines de découvertes significatives faites dans le domaine des sciences fondamentales au dix-neuvième siècle figurent par exemple la deuxième loi de la thermodynamique de Rudolf Clausius, la géométrie non euclidienne de Georg Friedrich Riemann et la théorie cinétique des gaz de James Clerk Maxwell élaborées dans les années 1850 ; le tableau périodique des éléments de Dmitry Mendeleev, le rayonnement du corps noir de Gustav Kirchoff et les équations électromagnétiques de Maxwell dans les années 1860 ; les travaux de Louis Pasteur sur la détérioration des produits alimentaires, les lois des gaz de Johannes Diderick van der Waals et la thermodynamique chimique de J.W. Gibbs dans les années 1870.¹¹

L'application novatrice de ces découvertes ne fut pas immédiatement apparente ; pourtant, les équations de Maxwell jetèrent les bases de la radio, de la télévision, de l'électronique et de l'informatique ; les travaux de Mendeleev sur le tableau périodique établirent les principes de base de la chimie moderne et les efforts de Pasteur dans le domaine de la détérioration des produits alimentaires donnèrent naissance à la science de la bactériologie et à la biologie moderne.

Une connexion directe semble exister en surface entre découverte et application. C'est-à-dire que, en étudiant le passé, on peut aisément faire apparaître une voie simple de l'étincelle créatrice à une technologie qui changera le monde. Toutefois, la voie menant de ces découvertes scientifiques à la technologie utilisée par le combattant n'est jamais directe. Elle est au contraire longue et tortueuse, rarement linéaire et jamais simple. Une découverte en engendre une autre ; une nouvelle application est à la source d'autres. Il est rare que l'application finale jaillisse directement de l'esprit de l'inventeur ; elle attend au contraire d'être révélée par l'utilisateur comme le cœur d'un oignon que l'on pèle couche par couche.

Les travaux de recherche ne portent pas vite leurs fruits. La mise en application des résultats de la recherche fondamentale se mesure généralement en décennies, pas en jours. Par exemple, le temps qui s'écoula entre l'invention et l'innovation fut de 79 ans pour le tube fluorescent, 56 ans pour le gyrocompas, 53 ans pour la cueilleuse mécanique de coton, 27 ans (!) pour la fermeture éclair, 14 ans pour le réacteur, 13 ans pour le radar, 9 ans pour le rasoir mécanique et 8 ans pour le téléphone sans fil.¹² Bien que cette perspective de longue durée soit un inconvénient de la recherche à long terme, ses applications ont prouvé qu'elles peuvent changer l'orientation de la société.

De même, les révolutions de la guerre moderne telles que la technologie de la furtivité ne se sont pas faites du jour au lendemain. La furtivité commença par un investissement dans la recherche fondamentale dans les années 50, influencé principalement par les efforts de base soutenus par l'AFOSR et attisé par l'appréciation par les Américains de la valeur de certaines théories fondamentales élaborées par le physicien russe Pyotr Ufimtsev, qui avait vu l'application de ces travaux largement ignorée dans son propre pays. Les futurs missiles hypersoniques, qui constituent un autre exemple, s'appuieront sur presque cinq décennies de recherche fondamentale et appliquée dans le domaine du vol à grande vitesse. Le moteur qui propulsera très probablement un missile de croisière à grande vitesse – le statoréacteur à combustion supersonique ou « super statoréacteur » – fit d'abord l'objet d'une analyse rigoureuse de la part de deux ingénieurs, Richard Weber et John McKay, travaillant pour le Comité national consultatif sur l'aéronautique, prédécesseur de l'Agence nationale de l'aéronautique et de l'espace (*National Aeronautics and Space Administration* – NASA), en 1958. Quarante-six ans plus tard, l'avion expérimental X-43a valida le concept élaboré par Weber et McKay en volant à sept fois puis dix fois la vitesse du son les 27 mars et 16 novembre 2004 respectivement. Ces vols, qui permirent de recueillir un total cumulé de 20 secondes de données sur le moteur, représentent l'aboutissement de centaines d'heures

d'essais en soufflerie et de milliers d'heures de simulations sur ordinateur – qui ne sont que le début d'une longue série d'expériences destinées à rendre les moteurs de missiles à grande vitesse réalisables.

Il en va de même de l'application des lasers et des hyperfréquences de puissance élevée comme armes à énergie dirigée. Leurs applications révolutionnaires éclipsent toute attente initiale quant à ce que ces technologies pourraient accomplir un jour. Par conséquent, bien que l'utilisation initiale d'une invention puisse répondre à un besoin particulier, le résultat novateur réel des investissements consacrés à la science et à la technologie attend toujours la découverte. C'est exactement ce que feront les combattants.

L'avenir

Les progrès actuels accomplis dans les domaines de la science et de la technologie seront incorporés de plus en plus rapidement à l'arsenal du combattant. La découverte scientifique d'aujourd'hui servira de base aux armes de demain. En d'autres termes, l'équivalent pour le guerrier du « temps de mise sur le marché » pour l'industrie – c'est-à-dire battre la concurrence en commercialisant un nouveau produit supérieur – est le déploiement de nouveaux moyens de combat avant que l'ennemi puisse réagir. Cela garantit que les États-Unis éviteront les surprises technologiques et maintiendront un avantage asymétrique écrasant sur leurs adversaires. Il est impossible d'énumérer toutes les découvertes et les innombrables façons dont les forces armées essayent de les exploiter ; l'AFOSR ou les services du directeur de la recherche et de l'ingénierie pour la défense au Pentagone offrent une large vitrine à ceux qui sont intéressés par l'examen de nos investissements actuels et futurs.¹³ Certaines possibilités prometteuses ouvertes par de récentes découvertes scientifiques valent toutefois d'être mentionnées.

Circulation quantique de clés

En collaboration avec ses collègues B. Podolsky et N. Rosen, Albert Einstein publia en 1935

une étude connue maintenant sous le nom de paradoxe EPR par référence à ses auteurs.¹⁴ S'efforçant de réfuter la mécanique quantique, Einstein essaya de démontrer le caractère incomplet de cette nouvelle théorie : le paradoxe EPR semblait montrer que l'information pouvait se déplacer à une vitesse supérieure à celle de la lumière. Au lieu de cela, l'étude d'Einstein conduisit à la création d'une nouvelle branche de la physique, utilisée actuellement pour transmettre des codes secrets, ce qui a donné naissance à un domaine en pleine croissance connu sous le nom de cryptographie quantique.¹⁵ Utilisant la mécanique quantique, des savants ont démontré la possibilité de créer un code constitué seulement de deux clés non interceptables. Cette découverte signifie qu'un jour les forces armées (ou quiconque d'autre, comme des banques, voire même des terroristes, utilise cette technique) pourraient créer un code impossible à percer.¹⁶

« Champs de force » non létaux

Les ondes millimétriques centrées à 95 gigahertz (GHz) produisent l'effet de refus actif. Financé par la direction des armes non létales interarmées, le programme de refus actif de l'armée de l'air, récemment déclassifié, cause une intense douleur temporaire chez les individus à des distances supérieures à celles qui caractérisent le tir des armes légères.¹⁷ Les ondes millimétriques ne sont pas ionisantes et donc non cancérogènes, ne produisant aucun effet nocif à long terme. Ces ondes produisent rapidement ce que les chercheurs appellent l'effet de fuite, offrant aux combattants une option non létale autre que crier après quelqu'un ou lui tirer dessus. Dans un certain sens, cela crée un « champ de force ».

Communications sécurisées

Rapidement absorbées par l'atmosphère, les ondes térahertziennes (1 térahertz = 1000 GHz) ne se propagent pas sur plus de quelques kilomètres. Nous pouvons utiliser cet inconvénient à notre avantage en offrant des communications sécurisées à courte portée entre nœuds d'un réseau dynamique d'ordinateurs, voire même entre fantassins, lorsque nous vou-



Un véhicule militaire modifié pour incorporer la technologie d'interdiction active, qui utilise un rayon d'énergie à ondes millimétriques pour créer une sensation de chaleur intense qui conduit les individus visés à reculer ou battre en retraite

lons empêcher l'interception de « fuites » radio sur de longues distances.¹⁸ Entre autres applications, cela empêche les adversaires de détecter les centres de commandement et de contrôle.

Nanotechnologie

La nanotechnologie fait intervenir des machines d'un millième de micron – c'est-à-dire longues d'un milliardième de mètre. En 1993, la recherche en matière de nanotechnologie était financée à hauteur de plus de trois milliards de dollars par an et, à la fin de la présente décennie, cet investissement approchera un billion de dollars par an.¹⁹ Les récents progrès accomplis dans le domaine de la nanotechnologie suggèrent la possibilité d'appliquer sur les projectiles une couche d'une seule molécule d'épaisseur, ce qui les rendra super-lisses et leur permettra ainsi de pénétrer à une profondeur bien supérieure à celles des bombes à pénétration typiques d'aujourd'hui. Il se peut également que de futurs progrès permettent un jour de faire circuler dans le

sang des aviateurs des « nano-infirmiers » qui répareront les lésions subies par des organes internes en temps de guerre. De tels progrès restent aujourd'hui du domaine de la science-fiction. Nous devons toutefois nous rappeler qu'il y a une décennie, les savants n'auraient jamais imaginé que nous connaîtrions aujourd'hui une telle réussite dans le domaine de la nanotechnologie.

Conclusion

Les progrès accomplis dans le domaine de la science et de la technologie sont d'une importance cruciale pour donner à l'armée de l'air un avantage décisif. Nous récoltons aujourd'hui les bénéfices de décennies d'investissement dans la science et la technologie. L'histoire montre que de tels investissements sont *toujours* bénéficiaires mais la pression exercée actuellement pour résoudre nos problèmes (tels que le paiement des factures de combustible et des coûts de la guerre, voire même l'amélioration de la qualité de la vie) peut menacer de traiter la science et la technologie sans ménagement.²⁰ Après tout, essayer de résoudre les problèmes importants et tenaces d'aujourd'hui rend plus facile de remettre à plus tard les projets d'avenir.

Notes

1. J. F. C. Fuller, *Armament and History: A Study of the Influence of Armament on History from the Dawn of Classical Warfare to the Second World War* (L'armement et l'histoire : Une étude de l'influence de l'armement sur l'histoire, de l'aube de la guerre classique à la deuxième guerre mondiale), (New York: Charles Scribner's Sons, 1945), 7.

2. Simon P. Worden, *SDI and the Alternatives* (L'initiative de défense stratégique et les alternatives), (Washington, DC: National Defense University Press, 1991), 13–15.

3. Richard P. Hallion, *Taking Flight: Inventing the Aerial Age from Antiquity through the First World War* (L'envol : Inventer l'ère de l'aviation de l'antiquité à la première guerre mondiale), (New York: Oxford University Press, 2003), 288.

4. La source des chiffres concernant la précision effectivement obtenue est le *United States Strategic Bombing Survey: Summary Report (Pacific War), 1 July 1946* [Enquête sur le bombardement stratégique effectué par les Etats-

Nous devons également être attentifs au fait qu'une technologie de pointe et un potentiel supérieur s'accompagnent de vulnérabilités accrues. Par exemple, des forces armées tributaires du GPS pour le guidage de précision sont particulièrement vulnérables face à un adversaire qui menace ce système. Par conséquent, *une fois que nous avons investi dans la technologie, nous devons continuer à investir pour conserver notre avance sur ceux qui chercheraient à utiliser contre nous les progrès accomplis.*

Il est également vrai que la technologie militaire, comme toute technologie, subit des changements révolutionnaires qui peuvent être fugaces. Il se peut qu'un jour les progrès techniques accomplis par nos adversaires annulent les avantages que la technologie de la furtivité offre à la force aérienne. Mais si ce jour arrive, nous pouvons être prêts grâce à de nouvelles technologies telles que le vol hypersonique – où la vitesse atteinte est tellement élevée que la détection devient sans importance – et les armes à énergie dirigée qui frappent presque instantanément avec une précision presque infinie. Pour assurer notre avantage décisif, l'armée de l'air *doit* continuer à soutenir la recherche scientifique et technologique en investissant vigoureusement dans ses programmes et son talent, aussi bien militaires que civils. □

Unis : Compte-rendu récapitulatif (guerre du Pacifique), 1^{er} juillet 1946], (Washington, DC: Government Printing Office, 1946). L'enquête sur le bombardement stratégique donne des chiffres bruts qui vont de 10 pourcent des bombes tombant dans la zone de l'objectif (75 à 300 mètres de l'objectif) à 50 pourcent pour les avions embarqués volant à basse altitude.

5. Richard P. Hallion, *Storm over Iraq: Air Power and the Gulf War* (Tempête sur l'Irak : La puissance aérienne et la guerre du Golfe), (Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1992), 293–94.

6. *Ibid.*, 282–83.

7. D'après la garde maritime des Etats-Unis (*U.S. Coast Guard*), la LORAN fut développée pour permettre la navigation radio dans les eaux territoriales des Etats-Unis et fut plus tard élargie pour englober une couverture complète des Etats-Unis, y compris la plus grande partie de l'Alaska. Les utilisateurs peuvent revenir aux

positions déterminées précédemment à 50 mètres près ou mieux s'ils utilisent la Loran-C en mode répétitif de différences de temps – qui n'est pas suffisamment précis pour permettre à un avion d'atterrir de lui-même.

8. Kenneth L. Adelman et Norman R. Augustine, *The Defense Revolution: Intelligent Downsizing of America's Military* (La révolution de la défense : Une réduction intelligente des effectifs militaires américains), (San Francisco: Institute for Contemporary Studies Press, 1992), 66.

9. Une partie de ce qui suit est extraite de l'ouvrage du colonel Douglas Beason intitulé *The E-Bomb: How America's New Directed Energy Weapons Will Change the Way Future Wars Will Be Fought* (La bombe électromagnétique : Comment les nouvelles armes américaines à énergie dirigée changeront la façon dont les guerres de l'avenir seront menées), (Philadelphia: Da Capo Press, 2005).

10. Nathan Rosenberg et L. E. Birdzell Jr., *How the West Grew Rich: The Economic Transformation of the Industrial World* (Comment l'Occident est devenu riche : La transformation économique du monde industriel), (New York: Basic Books/Harper Collins, 1986), 243.

11. Isaac Asimov, *Asimov's Chronology of Science and Discovery* (Chronologie Asimov de la science et de la technologie), (New York: Harper & Row, 1989), 338–71.

12. Donald L. Losman et Shu-Jan Liang, *The Promise of American Industry: An Alternative Assessment of Problems and Prospects* (Les promesses de l'industrie américaine : Une autre évaluation des problèmes et des perspectives), (New York: Quorum Books, 1990), 104.

13. Service de recherche scientifique de l'armée de l'air des Etats-Unis, <http://www.afosr.af.mil>; et services du directeur de la recherche et de l'ingénierie pour la défense, <http://www.dod.mil/ddre/mainpage.htm>.

14. A. Einstein, B. Podolsky et N. Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Com-

plete?" (La description de la réalité physique à l'aide de la mécanique quantique peut-elle être considérée comme complète ?), *Physical Review* 41, 777 (15 mai 1935): 777–80.

15. C. H. Bennett, G. Brassard et A. K. Ekert, "Quantum Cryptography" (La cryptographie quantique), *Scientific American*, octobre 1992, 50–57.

16. "Quantum Cryptography Tutorial" (Initiation à la cryptographie quantique), <http://www.cs.dartmouth.edu/~jford/crypto.html>.

17. "Active Denial Technology: Directed Energy Non-Lethal Demonstration" (Technologie du refus actif : Démonstration non létale de l'énergie dirigée), fiche d'information du laboratoire de recherche de l'armée de l'air, service des relations publiques, Kirtland AFB, Nouveau-Mexique, mars 2001.

18. *SiGe/Si Terahertz Lasers and Detectors for Space-Based Communications and Sensing* (Lasers térahertziens au silico-germanium/silicium et détecteurs pour télécommunications et détection dans l'espace), AFRL/SN-99-08 (Hanscom AFB, Massachusetts : direction des capteurs du laboratoire de recherche de l'armée de l'air, division de la technologie électromagnétique, section de technologie d'intégration des capteurs, 1999).

19. Conseil national de la science et de la technologie, sous-commission de la science, de l'ingénierie et de la technologie à l'échelle nanométrique, Fondation nationale des sciences, "Government Nanotechnology Funding: An International Outlook" (Financement public de la nanotechnologie : Une perspective internationale), 30 juin 2003, <http://www.nano.gov/html/res/IntlFundingRoco.htm>.

20. La mesure standard de valeur utilisée par la NASA est que, pour chaque dollar investi dans la science et la technologie spatiales, la NASA compte sur un rendement au septuple.

Nous avons besoin de gens de confiance, capables de travailler ensemble pour faire progresser l'organisation, plutôt que d'individus qui poursuivent égoïstement leurs propres programmes. Comme mon père me l'a enseigné, les leaders ont besoin de gens ayant de l'ambition – et non de gens ambitieux.

Général Stephen R. Lorenz, USAF
Air & Space Power Journal en français, Été 2006