

BULLETIN DE DOCUMENTATION N°19

ARMES A ÉNERGIE DIRIGÉE : POSSIBILITÉS ET LIMITATIONS¹

Olivier Dujardin

Les armes à énergie dirigée sont des armes capables de propager un faisceau d'ondes électromagnétiques vers une cible. En pratique, cela recouvre les armes utilisant des lasers et celles utilisant un faisceau micro-ondes.

Ce type d'armement a, depuis longtemps, été imaginé dans la science-fiction. En soi, émettre un faisceau laser ou un faisceau d'ondes électromagnétiques est maîtrisé depuis longtemps (désignation laser, LIDAR, radar). Toutefois, pour en faire des armes, la technologie bute encore sur le problème de l'énergie. Ces armes nécessitent une énergie électrique (ou chimique pour certains lasers) extrêmement importante dès lors que l'on espère obtenir un effet physique sur la cible (destruction, endommagement ou dysfonctionnement). Ce problème de l'énergie se résout petit à petit et des développements d'armes potentiellement opérationnelles commencent à voir le jour².

Ces armes présentent de nombreux avantages, à commencer par le coût minime d'un tir par rapport à une munition classique. En conséquence, la logistique s'en trouve d'autant plus simplifiée qu'il n'y a pas de munitions ; tant qu'il y a de l'énergie, les tirs restent possibles. De plus, la vitesse de propagation (vitesse de la lumière) et le côté immatériel rendent toute idée d'interception sans objet. La fulgurance, l'immatérialité et le coût très limité de leur emploi sont autant d'atouts qui intéressent fortement les forces armées ou de sécurité. Pour autant, ces armes répondent à des phénomènes physiques qui ont leurs limites. Il convient donc de bien appréhender les mécanismes physiques en jeu afin de déterminer les limites d'emploi de ces armes.

Les armes laser

Les armes laser agissent par effet thermique. La concentration du faisceau laser sur une surface va entraîner son échauffement jusqu'à la perforer (par fonte de la matière ou par combustion). L'effet thermique nécessite une illumination qui dure le

¹ L'auteur tient à remercier les départements DEMR et DOTA de l'ONERA pour l'aide apportée.

² Les Américains ont développé plusieurs prototypes d'armes laser de quelques dizaines de Kilo Watt de puissance en mesure de détruire des drones ou des roquettes

temps que la surface visée s'échauffe suffisamment pour être traversée. Ce temps dépend donc de la nature du matériau visé (type et épaisseur), ainsi que de la puissance émise par le laser. Plus un laser sera puissant et plus ce temps sera réduit.

Aujourd'hui, les prototypes de laser testés aux Etats-Unis nécessitent quelques secondes d'éclairement pour détruire un drone ou une roquette ; leur puissance se situe entre 10 et 30 KW environ. L'augmentation de la puissance permettra à la fois de réduire le temps d'éclairement et de traiter des cibles plus importantes (avions, navires, véhicules, etc.).

Les avantages des armes laser sont indéniables :

- la très grande directivité du faisceau laser permet des tirs sur des distances importantes (plusieurs centaines de kilomètres en théorie) sans dispersion de l'énergie ;
- chaque tir a un coût quasiment négligeable par rapport à n'importe quelle autre munition (obus ou missile). Le coût d'un tir laser est estimé à moins de 1€ ;
- la puissance du laser peut être modulée en fonction des besoins (effet létal ou non) et en fonction du type de cible (petit drone ou avion).

Toutefois, ces armes présentent aussi un certain nombre d'inconvénients dont il faut tenir compte avant d'envisager des applications opérationnelles.

- De manière générale, l'usage d'un laser en milieu atmosphérique limite la portée efficace de l'arme, une partie de l'énergie étant toujours absorbée par le milieu. Les faisceaux laser, comme tous les systèmes optiques, sont très sensibles aux conditions météorologiques. Les nuages, la pluie, la présence de poussières ou de fumées sont autant de conditions susceptibles de réduire fortement la portée et la puissance du faisceau laser. Une part importante de l'énergie sera absorbée, diffractée ou réfléchi par ces éléments. Certaines conditions (brouillard épais ou tempête de sable par exemple) peuvent rendre purement et simplement inopérant ce type d'armes.
- Comme tout système optique, l'inter-visibilité avec la cible est nécessaire ; en clair il est impossible d'engager une cible masquée, ce qui limite son emploi aux tirs directs.
- A mesure que les lasers deviendront plus puissants, la cadence de tir potentielle aura tendance à baisser du fait de la double nécessité de refroidissement du système et de recharge en énergie du dispositif entre chaque tir.

Comme tout système d'armes, les armes laser peuvent être contrées. Des contre-mesures sont possibles, soit pour en diminuer les effets, soit pour y échapper :

- Il est possible de mettre en autorotation un missile ou une roquette afin de répartir la surface d'échauffement et de retarder la perforation de la « peau ». Un tir laser ne pouvant durer que quelques secondes maximum, il est ainsi possible que le temps nécessaire à la perforation devienne plus long que le temps du tir lui-même.
- Un tir laser peut être détecté en amont par l'illumination laser préalable qui permet au tireur de déterminer les conditions de propagation liées aux conditions climatiques pour ajuster le tir (appelé effet de « *blooming* »). Ce laps de temps peut être utilisé pour tirer des fumigènes dont les particules absorberont et réfléchiront le faisceau laser. La cible ainsi camouflée derrière le nuage de fumée deviendra invisible pour le tireur en le privant de l'inter-visibilité.

- Les lasers étant des systèmes optiques, il serait possible, en théorie, de recouvrir les cibles potentielles de surfaces réfléchissantes. Cela rendrait certes l'objet plus perceptible visuellement (reflets du soleil), mais cela lui permettrait d'être pratiquement insensible à un faisceau laser puisque l'échauffement subi serait marginal. Toutefois, en pratique cela paraît peu applicable. Le niveau d'exigence optique de la surface réfléchissante, nécessaire pour réfléchir un laser de forte puissance est tel qu'il est difficile d'imaginer (pour des questions de coût et de complexité) qu'il puisse être appliqué sur de grandes surfaces. Une surface réfléchissante n'ayant pas les qualités optiques requises s'oxydera très rapidement dès qu'elle sera soumise au faisceau laser et deviendra extrêmement absorbante. Cette solution n'apparaît donc pas, aujourd'hui, comme une parade viable pour contrer une arme laser.

Comme toute nouvelle arme, les armes laser apporteront certaines capacités nouvelles mais ne remplaceront pas pour autant les armes existantes. Les inconvénients et les parades possibles (relativement simples pour certaines), ne permettent pas d'envisager que ce type d'armes devienne, à court ou moyen terme, prédominant sur le champ de bataille futur. La majorité des lasers utilisés ne le sera pas à des fins de destruction mais le sera à des fins de désignation de cible, de contre-mesure, d'éblouissement ou de détection comme c'est déjà le cas aujourd'hui.

Une application immédiate assez probable est de permettre de compléter la défense sol/air courte portée. Un système laser remplacerait avantageusement, en termes de coût, les missiles sol/air très courte portée et viendrait en complément de canons à tir rapide (PHALANX, AK-630, GOALKEEPER etc.). Le canon resterait nécessaire pour tous les cas où le système laser ne serait pas en mesure de détruire la cible (conditions météorologiques ou contre-mesures spécifiques contre les lasers). Les armes laser se développeront probablement en association avec les systèmes d'armes existant mais n'en remplaceront totalement que très peu.

Les armes à micro-ondes

Le principe des armes à micro-ondes est d'émettre un signal électromagnétique puissant afin de perturber, endommager ou détruire les circuits électriques et électroniques par effet de couplage (génération d'un champ électrique dans un conducteur soumis à une onde électromagnétique). Plus le signal électromagnétique est puissant et plus le champ électrique généré sera important ; ce champ électrique pouvant conduire à « griller » les composants. La gamme de fréquence à utiliser pour ce type d'armes se situe entre 500 MHz et 20 GHz environ. Les fréquences inférieures à 500 MHz deviennent assez peu directives à mesure que la fréquence baisse. Quant aux fréquences supérieures à 20 GHz, elles ont un taux d'absorption atmosphérique très important, engendrant des portées efficaces extrêmement faibles (quelques kilomètres à quelques centaines de mètres au-delà des 50-100 GHz) ; et les phénomènes de couplage ont aussi tendance à diminuer à mesure que la fréquence augmente.

Les armes à micro-ondes sont de deux types. Il y a d'abord les munitions à effet électromagnétique pour lesquelles le champ d'énergie est généré par une explosion (effet Sakharov) avec un effet non directif (le champ électromagnétique n'est pas dirigé vers une direction en particulier). Ce type de munition n'est pas à, proprement parler, une arme à énergie dirigée. Ensuite il y a les armes micro-ondes à énergie dirigée où le

champ électromagnétique est généré par un oscillateur (magnétron, klystron, etc.) comme sur un radar, le signal étant transmis par une antenne dans une direction donnée. Le but est alors d'émettre de façon très brève une impulsion de très forte puissance de façon à créer une densité de champ électromagnétique la plus importante possible.

Nos sociétés modernes sont aujourd'hui, potentiellement, de plus en plus vulnérables à ce type d'armes étant donné que les systèmes électroniques ont envahi et envahissent toujours plus nos vies. Que ce soit la distribution d'électricité, les moyens de communication ou tous les systèmes informatiques, pratiquement tous les équipements d'aujourd'hui utilisent de l'électronique. A mesure que les systèmes électroniques se miniaturisent, ils utilisent des composants toujours plus petits, ce qui participe à la vulnérabilité croissante des systèmes. En effet, plus les composants électroniques sont miniaturisés et plus ils utilisent pour fonctionner des tensions électriques faibles qui les rendent d'autant plus vulnérables aux champs électromagnétiques.

On voit ainsi apparaître les avantages de ce type d'armes :

- cela permet d'attaquer toutes les cibles disposant de circuits électriques ou électroniques (missiles, avions, drones, véhicules, postes de commandement, moyens de communication etc.) ;
- ce type d'armes n'ayant pas d'effet direct sur les organismes vivants (sauf exposition prolongée), il se présente donc comme une arme potentiellement non létale et non destructrice dans le sens où elle n'a pas d'effet mécanique sur les structures ;
- l'absence d'effet mécanique rend aussi l'arme « furtive », dans le sens où il devient difficile d'attribuer un responsable à une attaque. Il sera difficile de faire la différence entre une cause interne ou externe au système.

Malgré tout, des contraintes physiques et d'emploi apparaissent.

- Contrairement aux lasers, la focalisation du faisceau ne peut être aussi précise, ce qui engendre une dispersion du faisceau relativement importante. Plus la fréquence sera basse et plus la dispersion sera importante. Donc, à mesure que la distance augmente, la densité de puissance (W/m^2) du signal électromagnétique diminue, limitant d'autant la probabilité d'avoir un effet sur un circuit électrique.
- Ce problème de focalisation impose donc d'augmenter fortement la puissance d'émission de façon à garder une portée efficace conséquente. En dehors des aspects purement techniques sur la génération de puissance, la puissance d'émission d'un signal électromagnétique est limitée par l'air. Au-dessus d'une certaine puissance¹, il se passe un phénomène appelé « claquage de l'air ». Ce phénomène engendre une très forte ionisation des molécules d'air (création d'un plasma) qui le rend conducteur. Il se crée donc une boule de plasma, en particulier au niveau de l'antenne, imperméable à toute onde électromagnétique. La propagation ne pouvant plus se faire, la portée efficace devient alors nulle. Plus l'air sera chaud avec un taux d'humidité élevé et plus rapidement se produira le phénomène de claquage de l'air.

¹ Cela dépend des conditions de température et d'humidité, mais généralement compris entre 1 et 4 TW.

- Comme on vient de le voir, ce type d'armes est très vulnérable aux conditions météorologiques. Les meilleures conditions sont un air sec et froid; il devient alors évident que ce type d'armes n'aura pas la même efficacité sous tous les climats.
- Le phénomène de couplage est très difficile à prévoir (les effets sont aussi fonction de la fréquence utilisée). Même sur deux équipements identiques, une impulsion électromagnétique peut avoir des effets différents. Il est très difficile de prévoir l'effet qu'aura l'arme sur sa cible. Par exemple, si on expose un avion de combat à un tir, il sera pratiquement impossible de prévoir si, sous l'action du champ électromagnétique, le système de combat sera hors d'usage, si cela impactera juste momentanément la capacité de combat ou alors si cela n'aura touché que quelques fonctions secondaires.
- De la même manière, que l'on parle de munition électromagnétique ou de tir de faisceau électromagnétique, ce type d'attaque n'engendrant pas de dommages mécaniques, il est très difficile de connaître l'effet que l'arme a produit. En clair il est pratiquement impossible, à distance, de savoir si l'arme aura eu un effet ou pas, ni quel effet. Il ne sera pas possible de faire une évaluation des dommages causés (*Damage Assesment*) après une attaque. Cette impossibilité d'évaluer l'efficacité de l'effet de l'arme pose un problème tactique, voire stratégique, évident.
- Comme pour les lasers, à mesure que les puissances émises seront plus puissantes, la cadence de tir potentielle aura tendance à baisser du fait de la double nécessité de refroidissement du système et de recharge en énergie du dispositif entre chaque tir.

A côté de ses inconvénients, les parades existent et sont connues. Le blindage des circuits électroniques est la protection la plus efficace. En entourant les circuits d'une enveloppe conductrice, on crée une cage de Faraday qui est imperméable aux ondes électromagnétiques. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle génère du poids supplémentaire, ce qui peut être très contraignant pour toutes les applications aéronautiques (aéronefs et missiles principalement). Les véhicules blindés, les navires de combat, les bunkers en béton armé apparaissent naturellement protégés contre ce type d'armes, à la condition de ne disposer d'aucune antenne de communication. Aussi bien protégé que soit un système, à partir du moment où une antenne, un câble non protégé (alimentation électrique par exemple) ou un système d'aération sort de la zone blindée, le phénomène de couplage peut se produire. La seule structure parfaitement protégée contre ce type d'armes doit être totalement isolée du monde extérieur (pas de moyens de communication, autonomie en énergie, absence d'ouvertures etc.).

Aujourd'hui tous les systèmes électroniques utilisés à des fins civiles ou militaires apparaissent particulièrement vulnérables aux armes à micro-ondes. Pour autant, le manque de prédictibilité sur les effets potentiels et l'incapacité à déterminer l'impact de ce type d'armes limitent aujourd'hui leur emploi. Bien que ce type d'armes existe, il reste donc peu utilisé. Son emploi s'observe aujourd'hui surtout pour des applications spécifiques (courtes portée et faibles puissances), non létales, qui se rapprochent des missions de police comme la lutte contre les drones avec le développement de « fusils électromagnétiques anti-drones », de « canons électromagnétiques » pour neutraliser des véhicules ou les systèmes de contrôle des foules par échauffement micro-ondes. Les emplois militaires souffrent encore d'un manque de doctrine d'emploi pour ce type d'armes, compte tenu de ses importantes contraintes et limitations.

L'emploi de ces armes devrait être pensé dans la complémentarité et non comme un tout. Par exemple, pour la défense antiaérienne, on peut imaginer faire d'abord un tir électromagnétique en direction d'un aéronef avant un tir de missile antiaérien. Le tir d'arme électromagnétique peut permettre d'empêcher la mise en œuvre de contre-mesures par la cible et d'optimiser ainsi la probabilité d'interception du missile. De la même manière, avant de traiter des cibles sur un site protégé avec une défense antiaérienne, il peut être pertinent d'envoyer une arme électromagnétique qui permettra de neutraliser, même temporairement, les systèmes de détection et de défense. La même démarche pourrait être utilisée contre une flotte de bâtiments de combat dans laquelle l'arme électromagnétique aurait pour fonction de perturber, au moins momentanément, les moyens de détection et de contre-mesures, le temps que les missiles antinavires fassent leur œuvre.

Ce type d'armes apparaît alors comme un complément intéressant pour limiter, voire neutraliser, l'efficacité des systèmes de défense ou de contre-mesures d'une cible potentielle. Ce type de combinaison pourrait améliorer l'efficacité globale des armements existant.

*

Les armes à énergie dirigée n'apparaissent pas, aujourd'hui ni dans un avenir proche, en mesure de complètement révolutionner le champ de bataille. Leurs atouts sont indéniables et pourront avantageusement compléter l'arsenal des armes disponibles sans totalement remplacer aucun des systèmes d'armes existant aujourd'hui. Leur emploi doit être pensé et intégré avec les systèmes existant et non en concurrence, c'est la complémentarité des systèmes qui donnera l'exploitation la plus pertinente des armes à énergie dirigée. En dehors d'une utilisation dans le vide spatial, les effets atmosphériques constituent et resteront une limitation majeure pour les armes à énergie dirigée.

Olivier Dujardin
Mai 2017